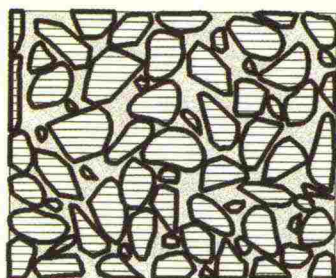




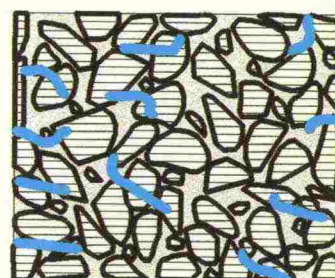
Tielaitos

Tuomo Kollanen

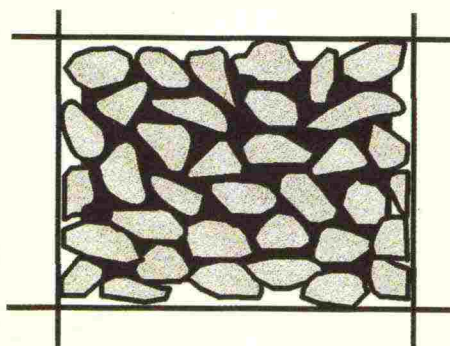
Asfalttipäällysteen tyhjätilan mittauss- menetelmien vertailu



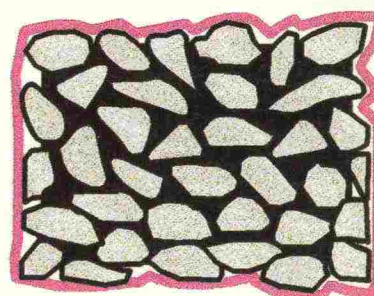
IV



IPK



DIM



KALVO

Tielaitoksen
selvityksiä

11/1996

Helsinki 1996

Kehittämiskeskus

Tielaitoksen selvityksiä
11/1996

Tuomo Kollanen

Asfalttipäällysteen tyhjätilan mittaus- menetelmien vertailu

Tielaitos
Kehittämiskeskus

Helsinki 1996

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-190-X
TIEL 3200380
Oy Edita Ab
Helsinki 1996

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos

Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

KOLLANEN Tuomo: Asfalttipäällysteen tyhjätilan mittausten menetelmien vertailu. Helsinki 1996. Tielaitos, kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 11/1996. 47 s. + liitteet. ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-190-X, TIEL 3200380

Aiheluokka: 42

Asiasanat: päällysteet, tyhjätila

TIIVISTELMÄ

SMA-päällysteiden tyhjätilan mittausten menetelmät ovat puhuttaneet kovasti viime aikoina. Päällysteet ovat olleet harvahoja, jolloin oikean mittaustavan valinta on ollut vaikeaa. CEN-normitus on tuonut oman lisänsä tähän keskusteluun mittausten menetelmien luotettavuudesta ja niiden käytettävyydestä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia eri tyhjätilan mittausten menetelmien soveltuvuutta SMA-massalle ja niiden välisiä yhteyksiä. Selvitettiin myös sekä laboratoriossa valmistetuille että tieltä poratuille kappaleille soveltuvaa yhteismitallista tutkimusmenetelmää. Lisäksi verrattiin laboratoriomenetelmien tuloksia DOR-mittauksiin.

Tieltä porattujen koekappaleiden tiheydet tutkittiin perinteisillä ilma-vesipunnituksilla (PANK 4110) sekä imeytys-pintakuivausmenetelmällä (PANK 4112). Uutena menetelmänä käytettiin tiheyden määrittämistä porauskappaleen ulkomitoista (PANK 4111). CEN-menetelmän (prEN 227111, luonnos) hengessä tutkittiin myös muovikalvon käyttöä ilma-vesipunnituksessa. Laboratoriomittausten menetelmien lisäksi tutkimuksessa kerättiin mittaussaineistoa tiellä tehdyistä radiometrisistä DOR-tiheysmittauksista. Erikseen toteutettuna tutkimuksena järjestetyn rengaskokeen (4 laboratoriota) tulokset liitettiin tutkimukseen mukaan.

Laboratorionäytteiden ja tieltä porattujen kappaleiden tyhjätilojen vertailun perusteella mittausten menetelmän valinta ei ole ongelma, kun tyhjätilaa mitataan poratuista kappaleista. Sen sijaan muottiin tiivistettyjen kappaleiden tyhjätilat ovat vertailukelpoisia tienäytteisiin vain, jos tyhjätilan määrittämiseen käytetään imeytys-pintakuivausmenetelmää. Sen sijaan erittäin harvoille kappaleille voidaan käyttää myös ulkomitta-/kalvomenetelmää.

Vertailussa mukana ollut radiometrinen mittausten menetelmä, DOR, ei sovellu kovin hyvin ainakaan SMA-päällysteen tarkan tyhjätilan mittaamiseen. Sen sijaan jatkuva tyhjätilan mittaaminen on yksi mahdollinen tapa tutkia päällysteen tasalaatuisuutta. Nykykäytännön mukaista massan tiheyden määrittämisestä tulisi kuitenkin suurentaa.

Soveliaimmat SMA-päällysteen tyhjätilan mittausten menetelmät ovat imeytys-pintakuivaus- ja muovikalvomenetelmä. Muovikalvon sijasta voidaan käyttää myös ulkomittamenetelmää. Imeytys-pintakuivausmenetelmää tulisi kuitenkin pitää ensisijaisena SMA-näytteiden tyhjätilan määrittämismenetelmänä, jotta vertailtavuus laboratoriossa valmistettujen koekappaleiden tyhjätiloihin olisi mahdollista. Imeytys-pintakuivausmenetelmää ei tule kuitenkaan käyttää SMA-näytteille, joiden tyhjätila on erittäin korkea - tässä tapauksessa on syytä tarkistaa muovikalvo- tai ulkomittamenetelmällä muutamasta harvimmasta vaikuttavasta kappaleesta ylittääkö tyhjätila 12 %. Jos tarkistuksen mukaan tyhjätila ylittää 12 %, ei imeytys-pintakuivausmenetelmää tule käyttää tyhjätilan määrittämiseen.

Keywords: pavement, voids

ABSTRACT

Measuring methods of void content on SMA-pavements have recently been under discussion. Pavements have been quite open so that selecting of the right measuring method has been difficult. CEN-standardization has brought its own attachment to this discussion about reliability and usability of different measuring methods.

The objective of the study was to examine the suitability of different methods for measuring void content of SMA-pavement and also the relationships between different methods. Also we studied commensurate measuring method for both pavement core samples and laboratory made specimens. Furthermore laboratory methods were compared to DOR-measurements (Density On Run, radiometric method).

The densities of specimens cored from the road were examined by traditional air-water weighing (PANK 4110) and surface saturated dry method (PANK 4112). As a new method was used the density measuring by measuring dimensions of the sample (PANK 4111). According the CEN standard (prEN 227111, draft) we tried also using of plastic film in air-water weighing. In addition to laboratory measurements also some DOR measuring results from road were collected. The test results of separately outcarried round-robin test (4 laboratories) were enclosed to the study.

If the void content is measured from core samples, there are no problems in choosing the measuring method for laboratory made samples (cores from slab) and samples cored from the field. Instead void contents of the samples compacted in mould in laboratory are comparable to pavement core specimens only if surface saturated dry method is used. For very open samples also dimension- or plastic film-methods can be used.

The tested radiometric measuring method, DOR, doesn't appear to be suitable for measuring of the exact void content of SMA-pavement. Instead the continuous void content measuring is one possible way to study the homogeneity of the pavement. Anyway the mixture density determination intervals should be short enough.

The most suitable void content measuring methods for SMA-pavement seems to be surface saturated dry method and plastic film method. Instead of plastic film method also measuring of dimensions can be used. Surface saturated dry method should anyway be kept primary void content test method for SMA-samples so that comparability to the void contents of laboratory-made samples is possible. Surface saturated dry method shouldn't be used for samples, whose void content is very high - in this case should be first checked by plastic film method or dimension method of some most open samples if the void content is over 12 %. If the void content exceeds this value, surface saturated dry method should not be used to measure void content of the specimens.

ALKUSANAT

Tutkimus on tehty erilaisia tyhjätilan mittausmenetelmiä vertailevana tutkimuksena tavoitteena löytää se viisasten kivi, jonka perusteella voitaisiin valita soveliaat tyhjätilan mittausmenetelmät.

Tutkimusta varten aineistoa ovat antaneet Mika Kantola Laatuinsinöörit Oy:ltä, Mika Leppänen Lemminkäinen Oy:ltä ja dipl.ins. Jorma Heikkilä tielaitoksen geokeskuksesta. Rengaskokeen aineiston on toimittanut dipl.ins. Marko Kelkka teknillisestä korkeakoulusta. Tutkimuksen on tehnyt dipl.ins. Tuomo Kollanen VTT:n Yhdyskuntatekniikan tutkimusyksiköstä. Tutkimusta on tielaitoksen puolelta ohjannut insinööri Kalevi Toikkanen tielaitoksen kehittämiskeskuksesta.

Helsingissä helmikuussa 1996

*Tielaitos
Kehittämiskeskus*

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
1 JOHDANTO	9
2 TUTKIMUSMENETELMÄT	10
2.1 Tiepäällystekohteet	10
2.1.1 Radiometriset mittaukset	11
2.1.2 Mittaukset poratuista kappaleista	12
2.2 Laboratorionäytteet	13
2.2.1 Koekappaleet	13
2.2.2 Tyhjätillamittaukset	14
2.3 Tyhjätilatutkimusmenetelmien rengaskoe	14
2.4 Muut mittaukset	14
3 TULOKSET	15
3.1 Mittaukset päällystyskohteista	15
3.2 Mittaukset laboratorionäytteistä	26
3.3 Rengaskoe	30
3.4 Muut mittaukset	31
4 TULOSTEN TARKASTELU	32
4.1 Mittaukset päällystyskohteista	32
4.2 Mittaukset laboratorionäytteistä	38
4.3 Päällystyskohteen ja laboratorionäytteiden tulosten vertailu	41
4.4 Rengaskoe	42
4.5 Muut mittaukset	44
5 YHTEENVETO	45
6 LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

Tyhjätilan mittaaminen asfalttipäällysteestä on koettu ongelmalliseksi useissa eri yhteyksissä. Mittausmenetelmiä on kehitetty vuosien varrella useitaakin erilaisia, mutta normaalikäytännöksi on vakiintunut koekappaleiden punnitseminen ilmassa ja vedessä, jolloin tiheyden laskenta on yksinkertaista ja helppoa: kappaleen tiheys on sen massa jaettuna kappaleen syrjäyttämän veden tilavuudella. Tilanne on ollut viime vuosiin saakka vakaa eikä mittaamenetelmissä ole tapahtunut kehitystä.

Siirtyminen tiheistä asfalttibetoneista harvempiin kivimastikiasfaltteihin herätti keskustelun mittaamenetelmien oikeellisuudesta. Aikaisemmin ns. harvat päällysteet olivat varsin marginaalinen ryhmä eikä ongelmaa siinä mielessä ollut. Harvoilla päällysteillä käytettiin apuna parafiinia, jonka avulla estettiin vesipunnituksessa veden tunkeutuminen huokoiseen asfalttiin. Tämän menettelytavan heikkous oli kuitenkin se, ettei kyseisiä koekappaleita voitu käyttää muihin tutkimuksiin. Toinen menettelytapa oli punnita koekappale vedessä punnitsemisen jälkeen ilmassa, jolloin saatiin selville huokosiin tunkeutuneen veden määrä. Tämän veden tilavuus lisättiin koekappaleen tilavuudeksi tiheyttä laskettaessa. Uutena menetelmänä on tullut koekappaleen tilavuuden määrittäminen mittaamalla koekappaleen dimensiot.

Keskeinen ongelma päällysteen tiheyden ja tyhjätilan määrittämisessä on, mikä osa katsotaan kuuluvaksi päällysteeseen. Erityisesti kivimastikiasfaltteissa päällyste on pintarakenteeltaan huokoista, mutta toisaalta pinnan alapuolinen päällyste voi olla hyvinkin tiheää. Kyse on siis hyvinkin siitä, mitä mitataan.

Myös CEN-normituksessa tyhjätilanmäärittäminen on ollut kiistan aiheena. Viimeisimmän luonnoksen mukaan ollaan päätyneenä siihen, että menetelmät ovat vaihtoehtoisia eikä mitään selkeitä raja-arvoja eri menetelmien käytölle ole annettu. Tämä antaa valinnan vapauden, jonka toimivuuden edellytys on valinnan tekijän hyvä asiantuntemus.

Laatuvastuurakentamisen ohessa päällystystöihin tuli mukaan uusi radiometrinen päällysteen tiheysmittari. Aikaisemmin käytetyt radiometriset tiheysmittarit ovat menettäneet suosiotaan vaikean käytettävyytensä ja tulosten suuren hajonnan vuoksi. Uusi menetelmä, DOR (Density On Run), poikkeaa edeltäjistään edukseen paremman käytettävyytensä vuoksi sekä siksi, että mittaukset voidaan tehdä jatkuvana. Mitattavana suureena on kuitenkin lähinnä tyhjätilan hajonta eikä tarkka tyhjätila. Näin saadaan selville päällysteen tasalaatuisuus. Tyhjätilan tarkan arvon mittaaminen on kuitenkin tärkeää, koska juuri se vaikuttaa päällysteen kestävyYTEEN.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia eri tyhjätilan mittaamenetelmien soveltuvuutta SMA-massalle ja niiden välisiä yhteyksiä. Selvitettiin myös sekä laboratoriossa valmistetuille että tieltä poratuille kappaleille soveltuvaa yhteismitallista tutkimusmenetelmää. Lisäksi verrattiin laboratoriomenetelmien tuloksia DOR-mittauksiin.

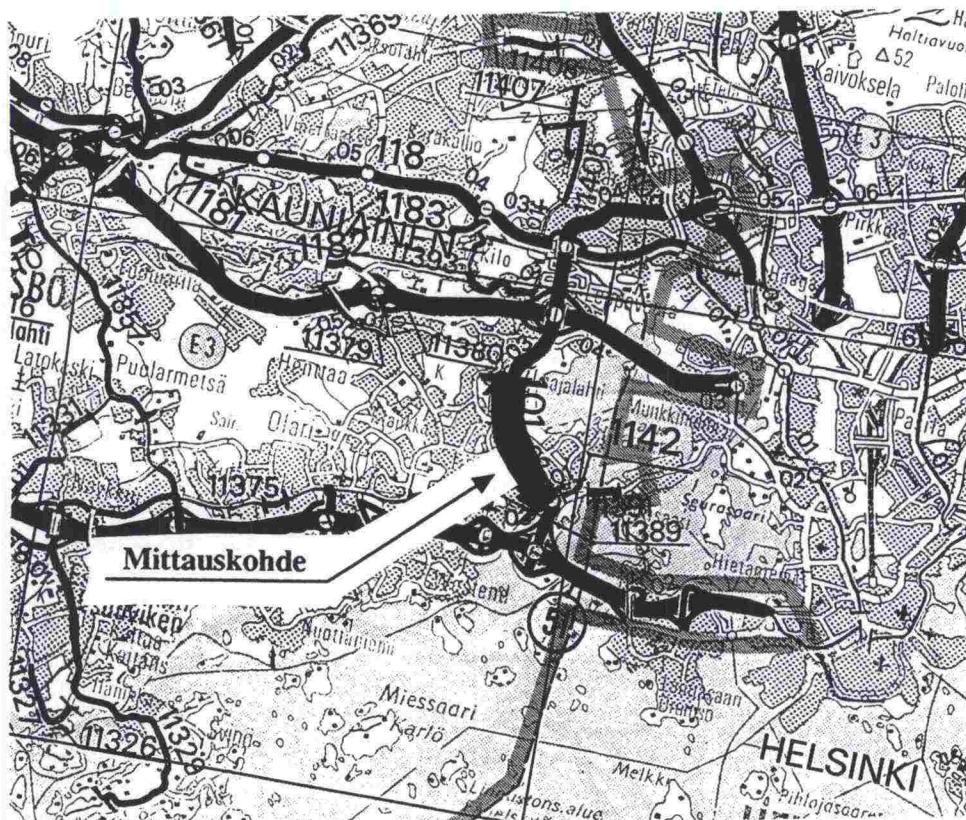
2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimukseen otettiin mukaan nykyisin yleisimmin käytettävät tyhjätilan tutkimusmenetelmät PANK-menetelmäkuvausten mukaisesti. Niiden lisäksi on CEN-menetelmän hengessä kokeiltu myös muovikalvon käyttöä mittauksissa. Parafiinin käyttöä ei katsottu tarpeelliseksi kokeilla, koska näin mitattuja koekappaleita ei voida käyttää muissa tutkimuksissa ja toisaalta menetelmä koettiin hankalaksi. Laboratoriomittausmenetelmien lisäksi tutkimuksessa kerättiin mittausaineistoa myös tiellä tehdyistä DOR-tiheysmittauksista.

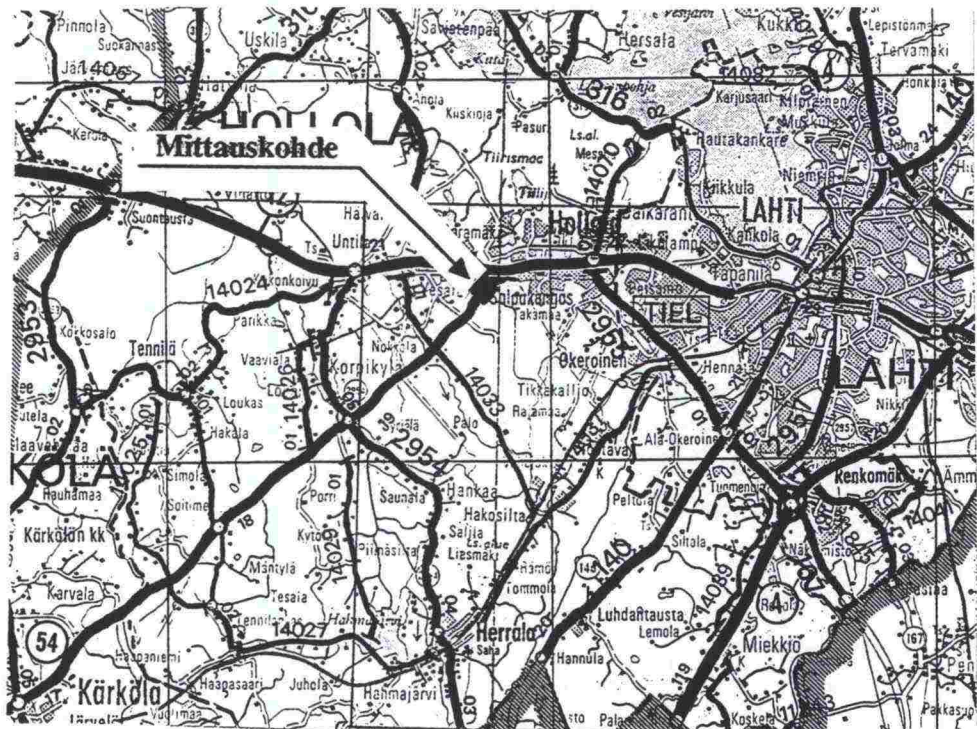
Erikseen toteutettuna tutkimuksena järjestetyn rengaskokeen tulokset liitettiin tutkimukseen mukaan.

2.1 Tiepäällystekohdeet

Mittauskohteet valittiin siten, että niistä oli käytettävissä myös DOR-tiheysmittaustulokset. Päällystetyypin tuli olla SMA-tyyppinen massa, jollaisella mittausongelmat ovat olleet erityisen suuret. Kohteiksi valittiin Uudenmaan tiepiiristä Mt 101 (kehä I, Karhusaari - Konala) sekä Hämeen tiepiiristä Kt 54 (Lahti - Riihimäki). Mittauskohteet on merkitty kuvien 1 ja 2 karttoihin. Uudenmaan kohteessa päällysteenä oli SMA 18/80 MPKJ, Hämeen kohteessa vastaavasti SMA 16/80 TASK. Annetut massareseptit ovat liitteessä 1.



Kuva 1. Koekohde Uudenmaan tiepiirissä Mt 101:llä.



Kuva 2. Koekohde Hämeen tiepiirissä Kt 54:llä.

2.1.1 Radiometriset mittaukset

Radiometriset mittaukset tehtiin DOR-tiheysmittarilla menetelmäohjeen PANK 4113 mukaisesti. Menetelmä perustuu radioaktiivisen Cs-137 säteilyn takaisinsirontaperiaatteeseen. Säteilylähteestä kohdistuu säteilyä mitattavaan materiaaliin ja osa säteilystä heijastuu takaisin materiaalien rajapinnalle muodostuneesta heijastepinnasta. Heijastunut säteily osuu säteilyntunnistimeen ja sen perusteella määritetään päällysteen tiheys. Laite liikkuu sähkömoottorin avulla nopeudella $1,0 \pm 0,2$ km/h. Mittaustiheys on 1 lukema metriä kohti.

Mittaukset tehtiin kaistan oletetuista pyöräurista eli 0,9 m tai 2,5 m etäisyydeltä tien keskilinjasta. Periaatteena oli, että tietyltä, esimerkiksi noin 500 m matkalta, mitattiin toinen kyseisistä pyöräurista. Taustasäteily määritettiin ennen mittauksen aloitusta. Tyhjätilan laskemiseksi laitteeseen syötettiin myös mitattu massan tiheys.

Tutkittavina mittausravoina DOR-mittauksista oli laitteen maahantuojan mukaan suositeltavaa käyttää tietyn matkan mittauskeskiarvoa. Näin meneteltiin mm. kohinan eliminoimiseksi sekä matkan mittauksessa mahdollisten virheiden vuoksi.

Mt 101:llä mittauksesta vastasi Laatuinsinöörit Oy ja vastaavasti Kt 54:llä päällystysurakoitsija, Lemminkäinen Oy.

2.1.2 Mittaukset poratuista kappaleista

Mittauskohteista porattiin koekappaleita DOR-mittarilla mitatuista pyöräurista. Kustakin porauskohdasta otettiin aina 2 näytettä noin 30 cm etäisyydeltä toisistaan. Mt 101:llä porauskohdat pyrittiin valitsemaan aikaisemmin tehtyjen DOR-mittauksen perusteella niin, että tyhjätiloissa olisi mahdollisimman suuret vaihtelut. Kt 54:llä meneteltiin siten, että näytteitä otettiin samanaikaisesti DOR-mittauksen yhteydessä tietyin välimatkoin. Uudenmaan kohteesta porattiin 26 näytettä, joista 1 näyte hajosi ja Hämeen kohteesta vastaavasti 24 näytettä. Lisäksi Mt 101:ltä porattiin 4 vertailunäytettä DOR-laitteella mittaamattomasta pyöräurasta.

Porattujen koekappaleiden tiheydet tutkittiin ensin perinteisillä ilma-vesipunnituksilla, IV (PANK 4110) sekä imeytys-pintakuivausmenetelmällä, IPK (PANK 4112). Uutena menetelmänä käytettiin tiheyden määrittystä porauskappaleen ulkomitoista, DIM (PANK 4111). CEN-menetelmän (prEN 227111, luonnos) hengessä tutkittiin myös muovikalvon käyttöä ilma-vesipunnituksessa. Tutkimusmenetelmien periaatteet ovat taulukossa 1.

Taulukko 1. Tiheyden tutkimusmenetelmien periaatteet.

Menetelmän nimi	PANK-menetelmä	Lyhyt kuvaus
Ilma-vesipunnitus (IV)	PANK 4110	Punnitaan koekappale ilmassa ja vedessä ja lasketaan tiheys koekappaleen syrjäyttämän vesitilavuuden perusteella.
Imeytys-pintakuivaus (IPK)	PANK 4112	Punnitaan koekappale ensin ilmassa, sitten vedessä 3 min upotuksen jälkeen sekä vielä kerran ilmassa pinnasta kuivattuna. Tiheys lasketaan koekappaleen syrjäyttämän vesitilavuuden sekä siihen imeytyneen veden tilavuuden perusteella.
Ulkomittamenetelmä (DIM)	PANK 4111	Koekappale punnitaan ja sen tilavuus määritetään mittaamalla sen ulkomitat erityisellä pallopäisellä työntötulkilla.
Muovikalvo (KALVO)	-	Koekappale punnitaan, peitetään muovikalvolla ja punnitaan uudestaan ilmassa ja vedessä. Tiheys lasketaan koekappaleen syrjäyttämän vesitilavuuden perusteella.

Kustakin otetusta poranäyteparista mitattiin myös massan tiheys Ricen menetelmällä PANK 4109, kuten normaalisti menetellään tyhjätilan määrittä-

sessä päällysteestä otetuista poranäytteistä. Tyhjätilat laskettiin sekä etukäteen annettujen (mitattu Ricen menetelmällä) että laboratoriossa mitattujen massan tiheyksien perusteella menetelmän PANK 4114 mukaisesti.

Koska haluttiin selvittää perusteellisemmin tyhjätilan mittauksen periaatteita, sahattiin porauskappaleista epätasainen pintaosa (noin 10 mm) pois. Tämän jälkeen määritettiin tyhjätilat uudelleen IV-, IPK-, ja DIM-menetelmillä. Ulkomittamenetelmässä koekappaleiden halkaisijoiden oletettiin pysyvän vakiona, joten ainoastaan niiden korkeudet mitattiin.

2.2 Laboratorionäytteet

Mittauskohteissa käytettyjen massojen tutkimista laboratoriossa selvitettiin valmistamalla päällystenäytteitä erilaisilla tiivistystavoilla sekä mittaamalla niiden tyhjätilat normaalisti käytettävillä menetelmillä.

2.2.1 Koekappaleet

Tutkittavista asfalttimassoista tiivistettiin koekappaleita kolmella eri tiivistyslaitteella: Ø100 mm ja Ø150 mm ICT-kiertotiivistimillä sekä keinujyrällä.

Kiertotiivistimissä käytettiin normaaleja asetuksia: näytteeseen kohdistuva paine 1,6 bar ja 2°17' tiivistyskulmaa. Kierrosnopeus oli ICT 100:ssa 40 r/min ja vastaavasti ICT 150:ssa 30 r/min. Molemmat massat tiivistettiin kahdessa eri sideainepitoisuudessa. Sideainepitoisuuksina käytettiin sekä päällystystyössä käytettyä että 1 % alhaisempaa sideainepitoisuutta (poikkeuksena ICT150:llä tehty Kt 54:n massa, jossa ero oli 0,5 %), jotta erot olisivat riittävän suuria vertailuja varten. Lisäksi porakappaleiden tiivistystyövärimäärissä oli kaksi tasoa: 100 ja 400/406 kierrosta (ICT 100:ssa 406 kierrosta). ICT 150:lla valmistetuista koekappaleista porattiin ensimmäisten tyhjätilamittauksen jälkeen Ø100 mm kappaleet uusia tyhjätilamittauksia varten. Molemmissa laitteissa kappaleista valmistettiin n.100 mm korkeita.

Keinujyrällä tiivistettiin molemmista tutkittavista massoista yksi laatta, josta porattiin 12 porakappaletta tyhjätilamittauksia varten.

2.2.2 Tyhjätilamittaukset

Laboratoriokoekappaleista määritettiin tiheydet taulukon 2 mukaisesti. Tyhjätilan määrittämisessä käytettiin ilmoitettua massan tiheyttä. Näin myös vertailu tieltä otettuihin näytteisiin oli mahdollista.

Taulukko 2. Tiheyden määrittäminen menetelmät laboratoriossa valmistetuista koekappaleista.

Näytteen valmistusmenetelmä	Tiheyden määrittäykset
ICT 100 ja ICT 150	- ICT-mittaus - ilma-vesipunnitus - imeytys-pintakuivausmenetelmä
Keinujyvä	- ilma-vesipunnitus - imeytys-pintakuivausmenetelmä - ulkomittamenetelmä - muovikalvomenetelmä

2.3 Tyhjätilatutkimusmenetelmien rengaskoe

PANK ry:n laboratoriotöimikunta järjesti vuonna 1995 4 eri laboratorion välillä tyhjätilatutkimusmenetelmien rengaskokeen. Rengaskokeessa tutkittiin varsinaisesti tiheydenmittaustapoja, mutta tässä tutkimuksessa tarkastellaan sen aineistoa tyhjätilan kannalta.

Rengaskoetta varten valmistettiin VTT:llä kahta SMA-tyyppistä massaa, joissa käytettiin erilaisia kiviaineksia. Massasta tiivistettiin keinujyvällä laatat, joista porattiin tutkittavat koekappaleet, 4 porauskappaletta kummastakin massasta. Kussakin laboratoriossa tyhjätilat määritettiin jokaisella menetelmällä 1-3 sellaista henkilöä, jotka normaalisti tekevät tyhjätilamittauksia. Poraus-kappaleista määritettiin tyhjätilat seuraavilla menetelmillä:

- ilma-vesipunnitus
- imeytys-pintakuivausmenetelmä
- ulkomittamenetelmä

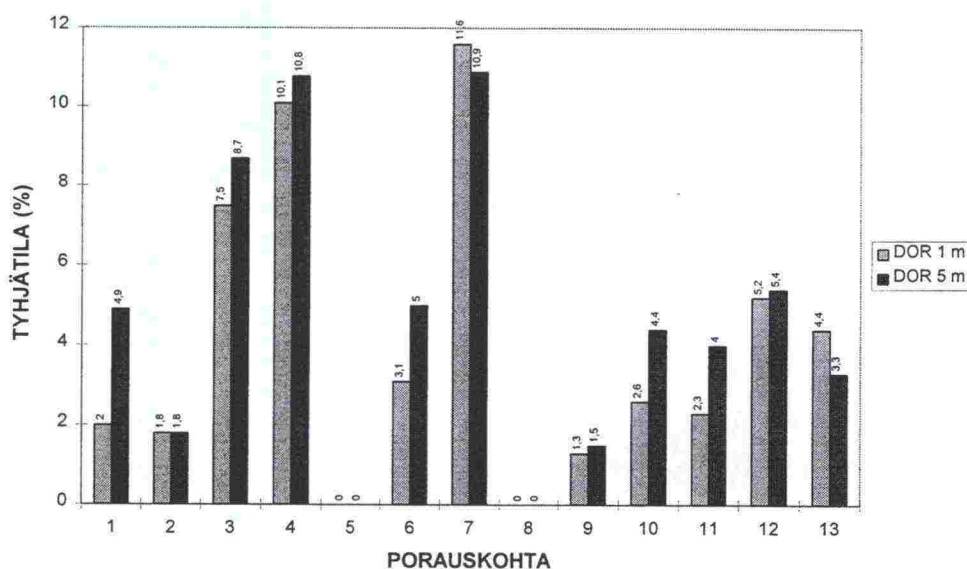
2.4 Muut mittaukset

Tielaitoksen geokeskus lupautui tekemään tutkimistaan porauskappaleista tyhjätilamäärittäykset kahdella eri menetelmällä. Normaali tutkimusmenettely oli massatyypin mukaisesti joko ilmavesipunnitus tai imeytyspintakuivausmenetelmä. Tämän lisäksi määritettiin tyhjätilat ulkomittamenetelmällä.

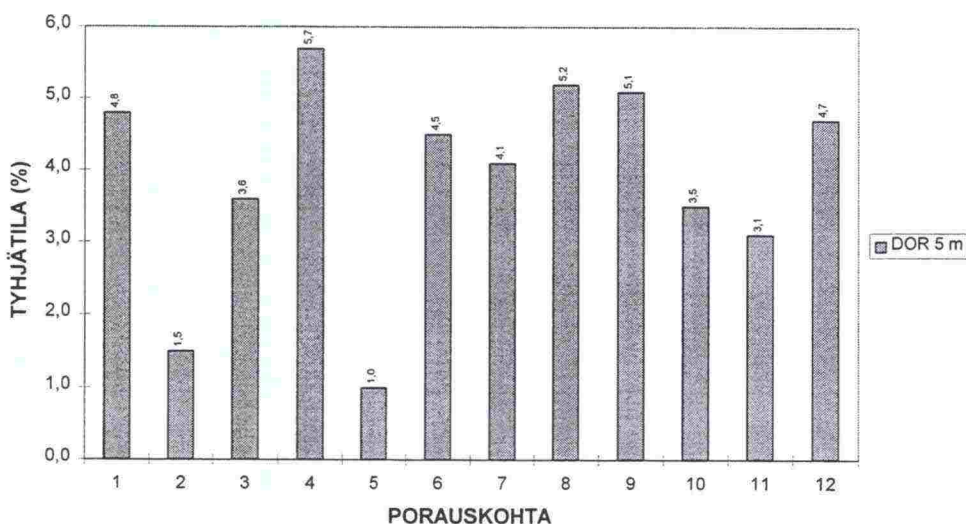
3 TULOKSET

3.1 Mittaukset päällystyskohteista

DOR-tiheysmittauksista määritettiin tyhjätilat 5 m keskiarvoina kustakin porausnäytteen ottopaikasta ($\pm 2,5$ m ottopaikasta). Vertailun vuoksi Uudenmaan mittaushaasteesta otettiin mukaan myös 1 m mittaustulokset ($\pm 0,5$ m ottopaikasta). Mittaustulokset Uudenmaan mittaushaasteen osalta ovat kuvassa 3 ja Hämeen haasteesta kuvassa 4. Tyhjätilat on laskettu ilmoitetun massan tiheyden mukaisesti, taulukko 3.



Kuva 3. DOR-mittaustulokset 1 m ja 5 m keskiarvoina porauskohdittain Mt 101:llä.



Kuva 4. DOR-mittaustulokset 5 m keskiarvoina porauskohdittain Kt 54:llä.

Taulukko 3. Ilmoitetut massan tiheydet.

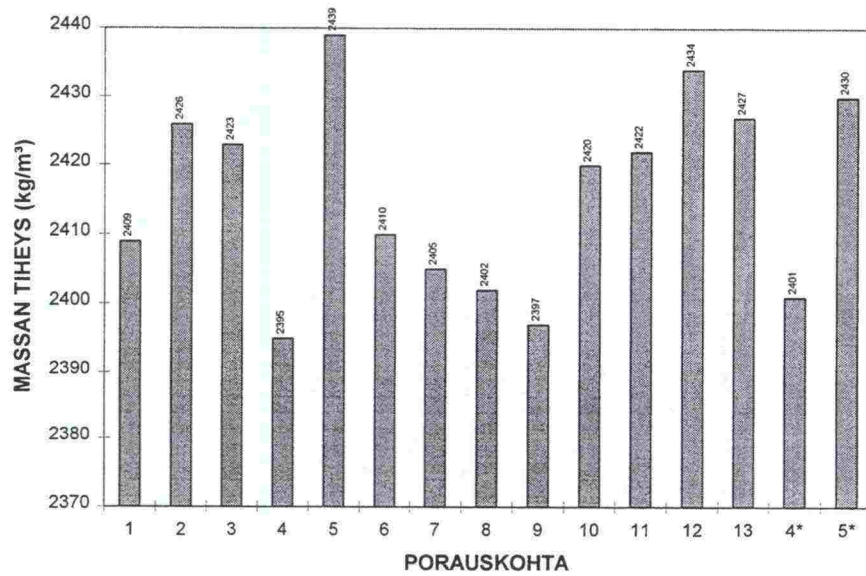
Mittauskohde	Massan tiheys (kg/m ³)
Uudenmaan tiepiiri Mt 101 (kehä I, Karhusaari - Konala)	2440
Hämeen tiepiiri Kt 54 (Lahti - Riihimäki)	2666

DOR-mittaustulokset mittauskohteista ovat liitteissä 2 (Mt 101) ja 3 (Kt 54). Koska Mt 101 valitut porauskohdat valittiin tarkoitushakuisesti niin, että tyhjätilojen vaihtelut olisivat mahdollisimman suuria, ei vertailua kokonaiseen DOR-mittaukseen voida tässä kohteessa tehdä. Sen sijaan Kt 54:llä porausnäytteiden otto oli sattumanvaraista ja vertailu on siten mahdollista. Kahden erillisen 500 m mittauksen keskiarvot ja keskihajonnat ovat taulukossa 4.

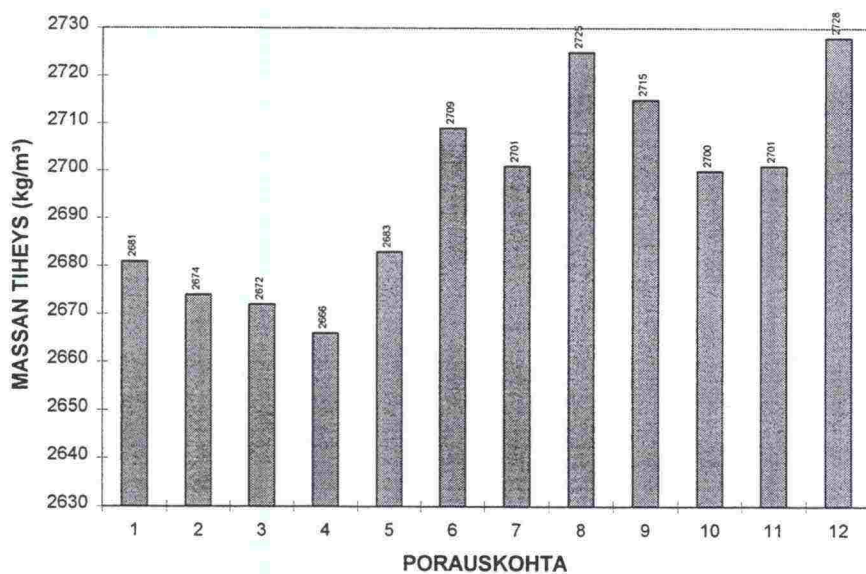
Taulukko 4. DOR-mittaustulokset (jatkuva mittaus) KT 54:llä.

Mittauskohta	Tyhjätila (%) keskiarvo	Tyhjätila (%) keskihajonta
0-500 m, ura 1 (reunaura)	3,3	1,3
500-1000 m, ura 2 (keskiura)	4,2	0,9

Tieltä poratuista koekappaleista määritettiin massan tiheys menetelmän PANK 4109 mukaisesti. Mitatut massan tiheydet on esitetty kuvissa 5 ja 6.

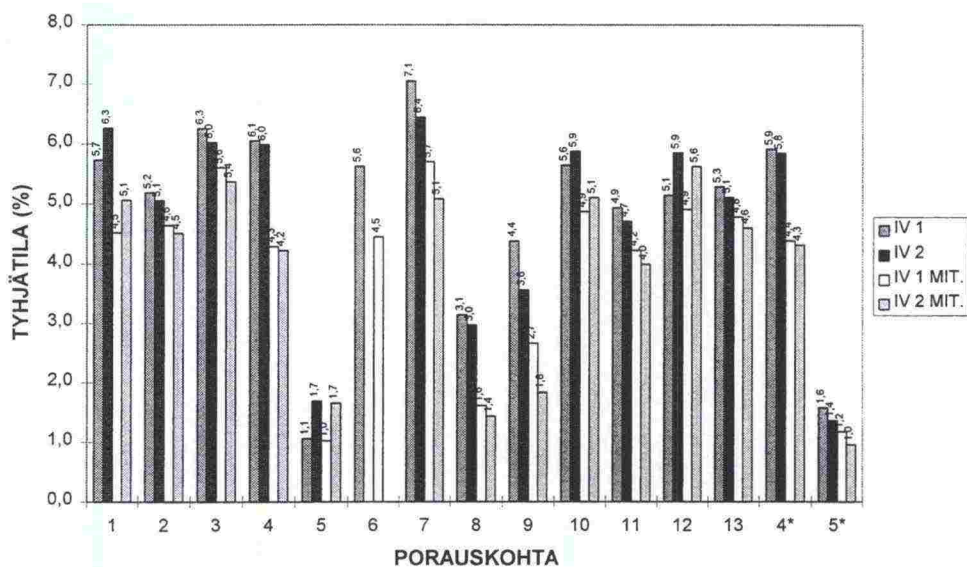


Kuva 5. Massan tiheydet porauskohdittain Mt 101:llä.

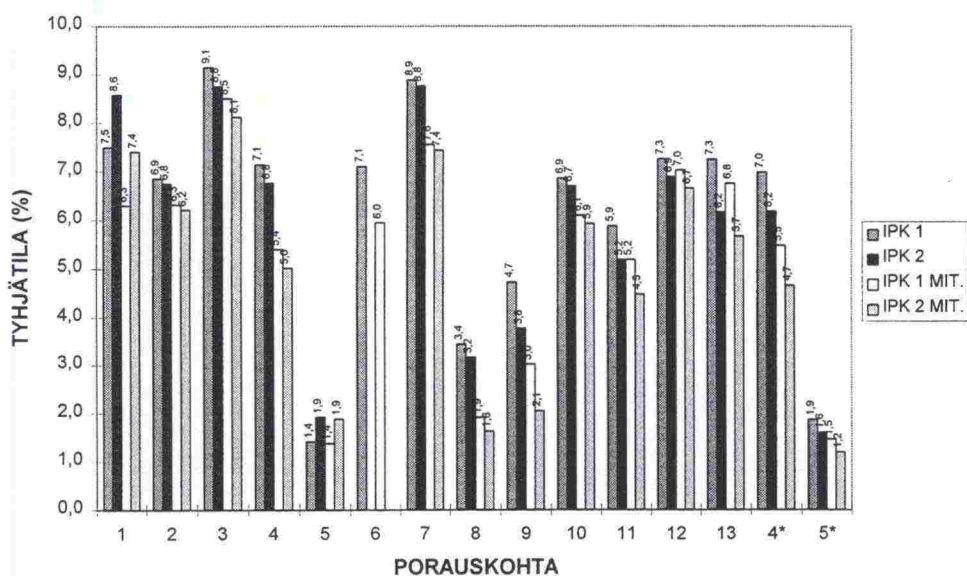


Kuva 6. Massan tiheydet porauskohdittain Kt 54:llä.

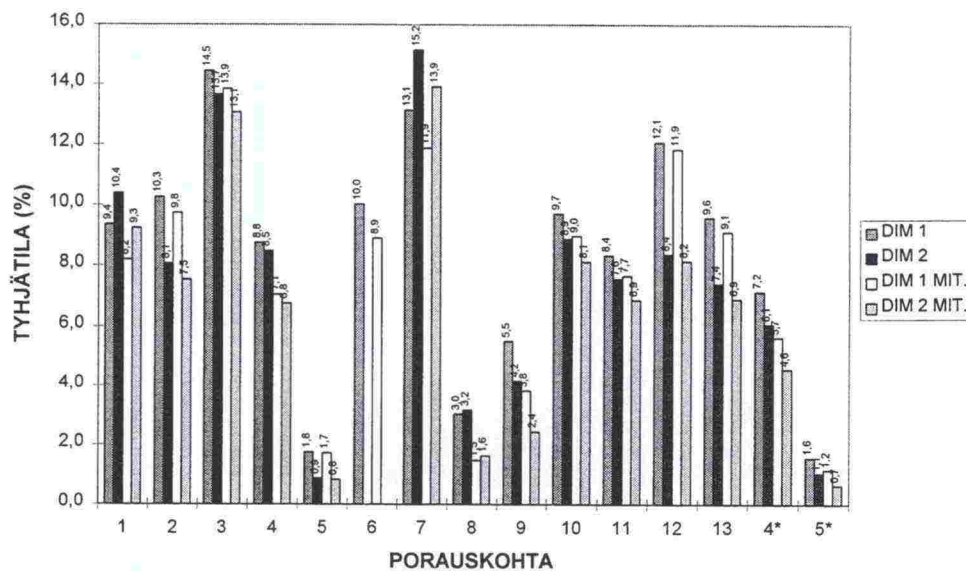
Porauskaappaleista määritettiin tiheydet PANK-menetelmissä esitetyn menetelmän sekä lisäksi muovikalvoa käyttäen. Tyhjätilat laskettiin sekä ilmoitettujen että mitattujen massan tiheyksien mukaisesti. Mittaustulokset erillisistä porauskaappaleista eri menetelmillä mitattuina on esitetty kuvissa 7 - 20.



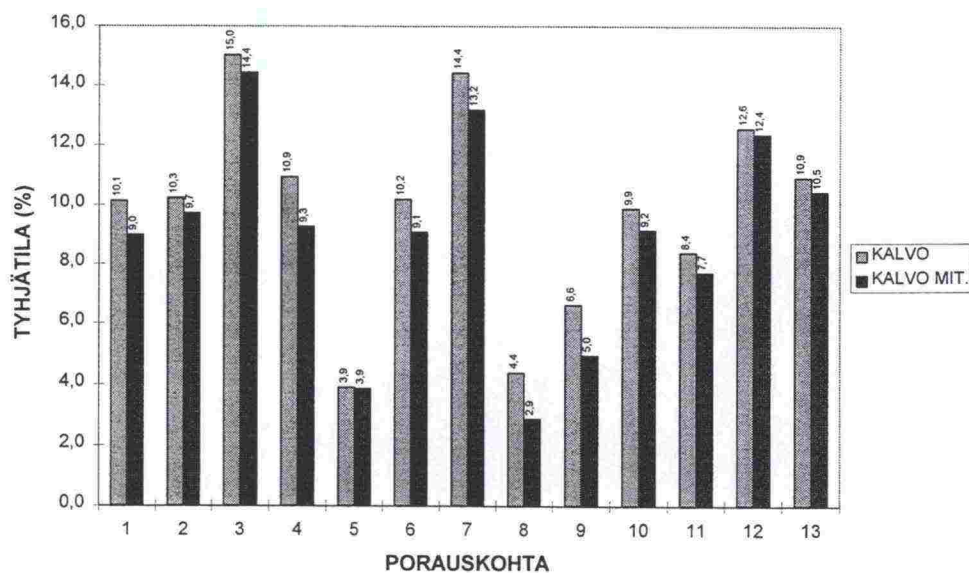
Kuva 7. Ilma-vesipunnituksin määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Mt 101:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



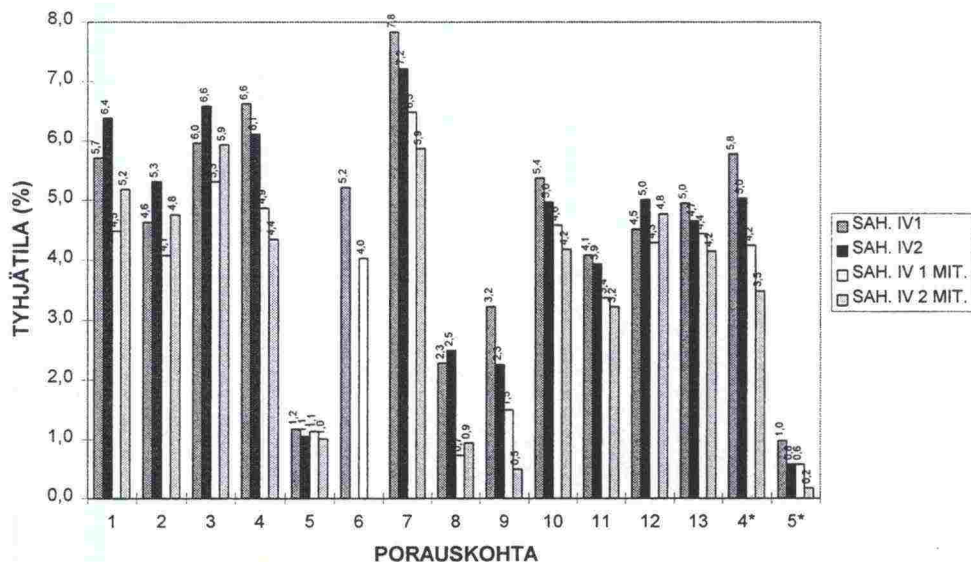
Kuva 8. Imeytys-pintakuivausmenetelmällä määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Mt 101:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



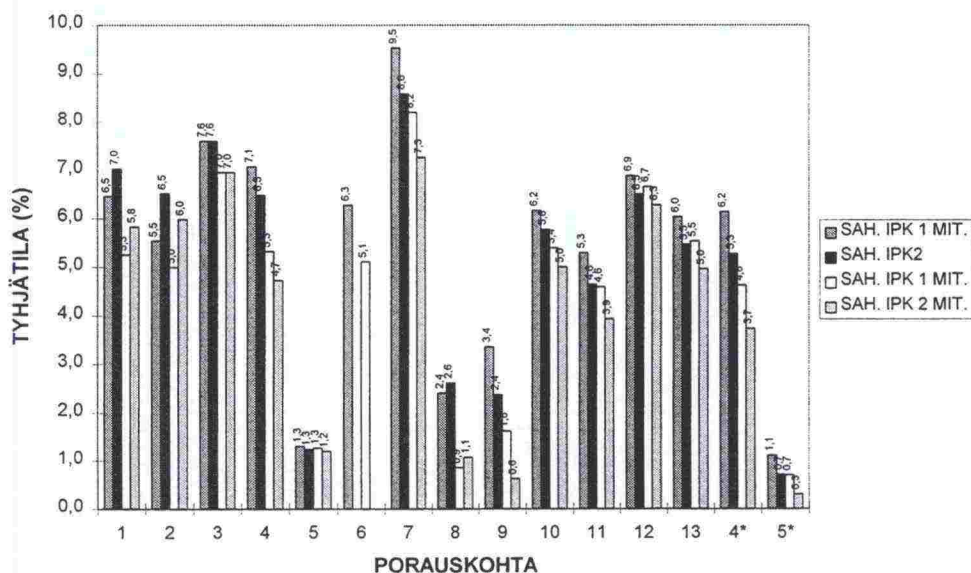
Kuva 9. Ulkomittamenetelmällä määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Mt 101:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



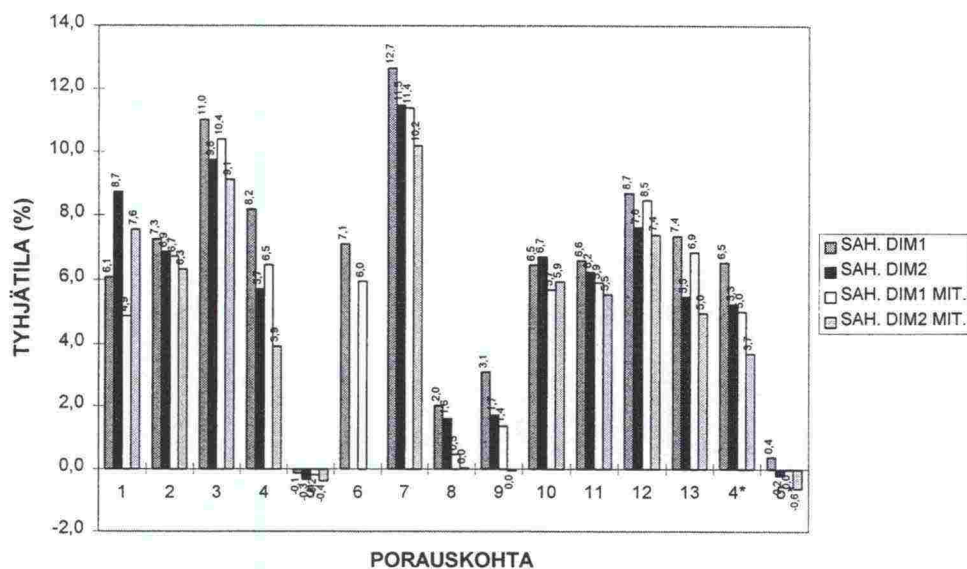
Kuva 10. Muovikalvoa käyttäen määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Mt 101:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



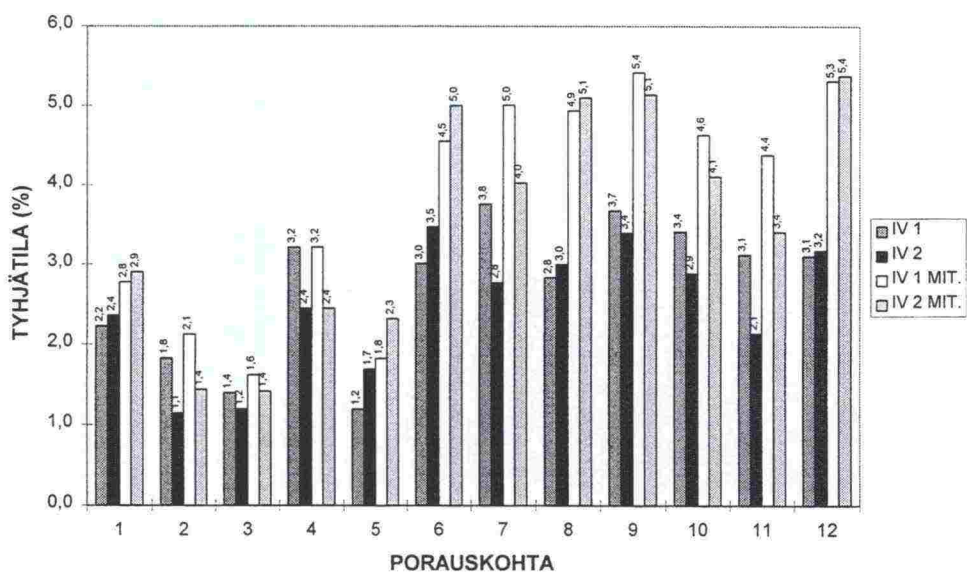
Kuva 11. Sahatuista kappaleista ilma-vesipunnituksin määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Mt 101:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



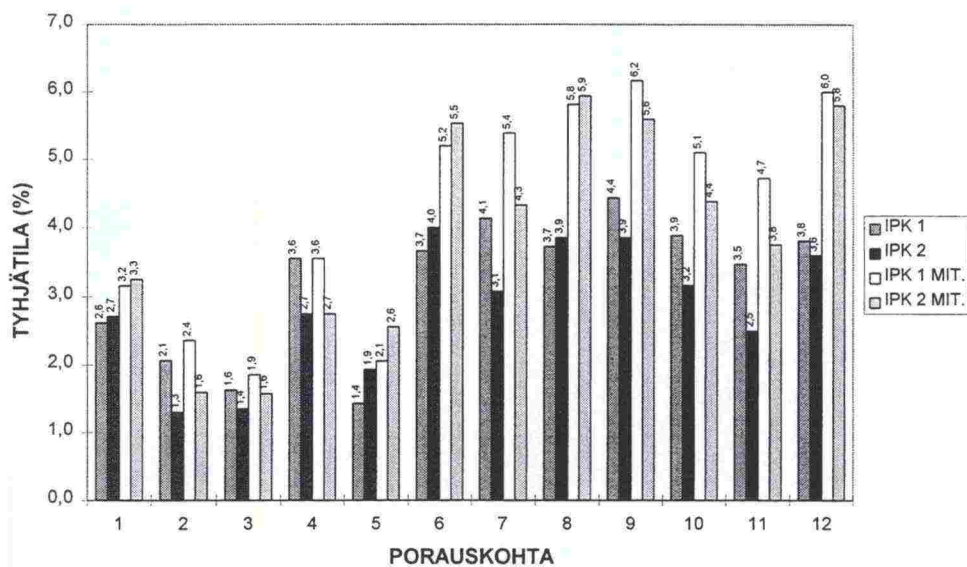
Kuva 12. Sahatuista kappaleista imeytys-pintakuivausmenetelmällä määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Mt 101:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



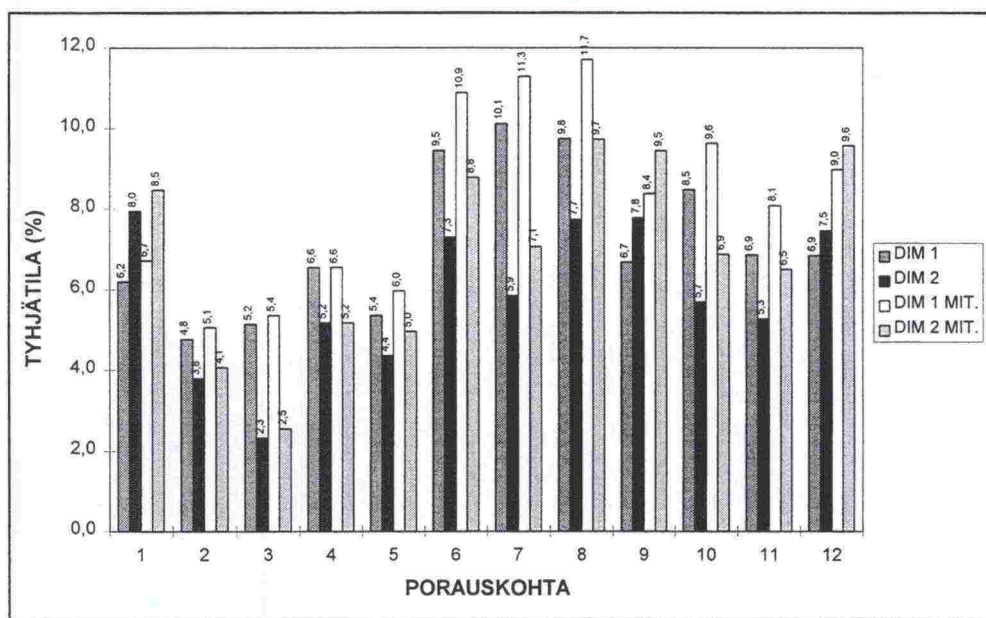
Kuva 13. Sahatuista kappaleista ulkomittamenetelmällä määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Kt 54:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



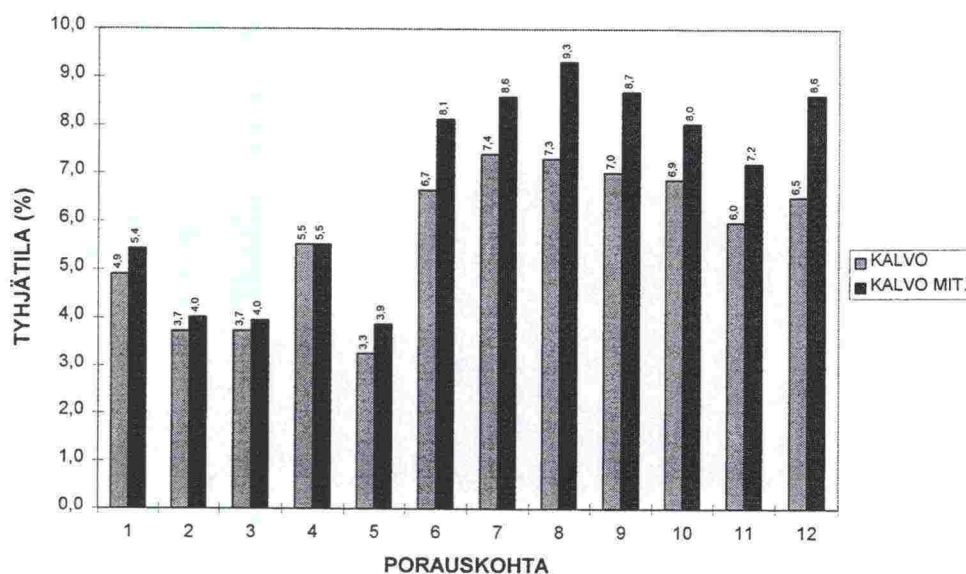
Kuva 14. Ilma-vesipunnituksin määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Kt 54:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



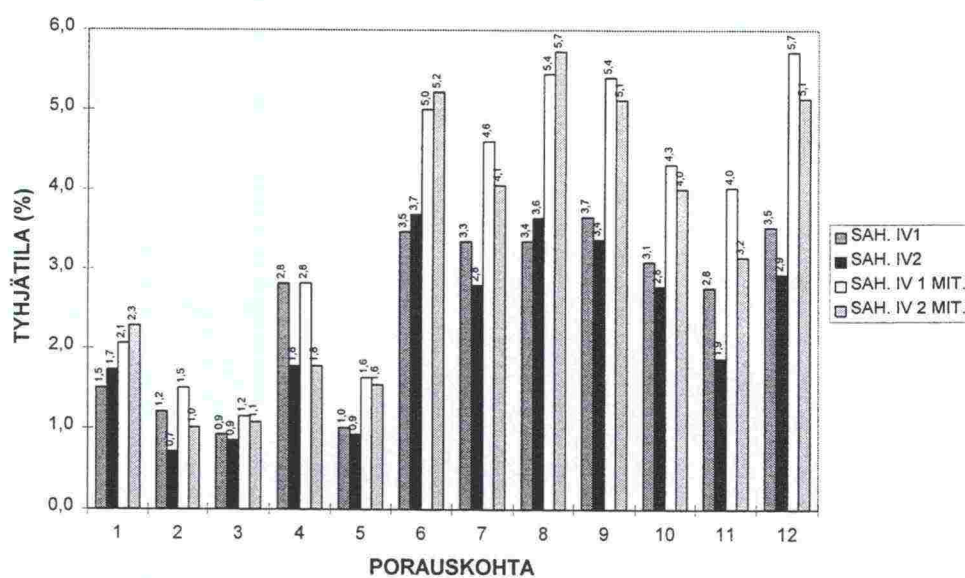
Kuva 15. Imeytys-pintakuivausmenetelmällä määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Kt 54:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



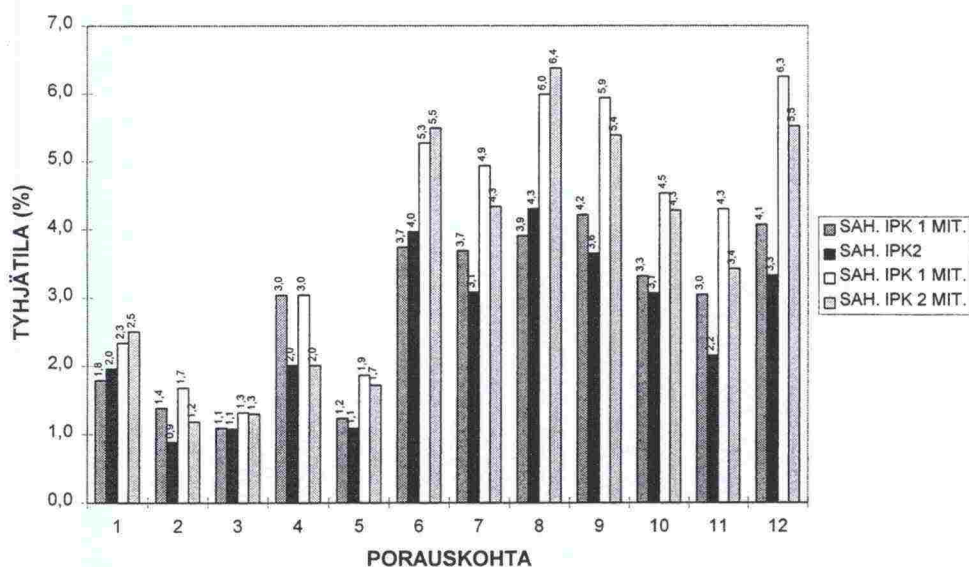
Kuva 16. Ulkomittamenetelmällä määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Kt 54:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



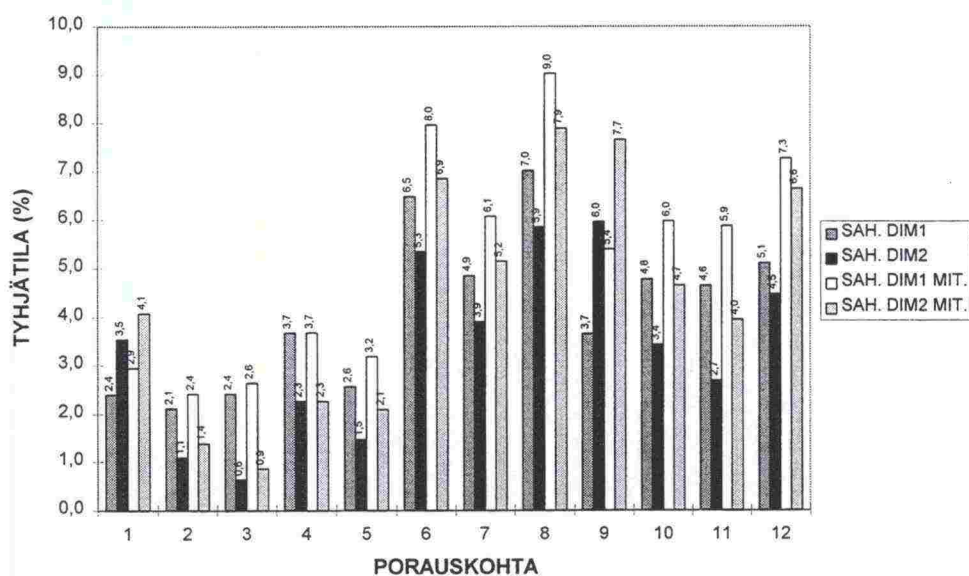
Kuva 17. Muovikalvoa käyttäen määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Kt 54:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



Kuva 18. Sahatuista kappaleista ilma-vesipunnituksin määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Kt 54:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



Kuva 19. Sahatuista kappaleista imeytys-pintakuivausmenetelmällä määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Kt 54:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.



Kuva 20. Sahatuista kappaleista ulkomittamenetelmällä määritetyt tyhjätilat porauskohdittain Kt 54:llä annetuilla ja mitatuilla massan tiheyksillä.

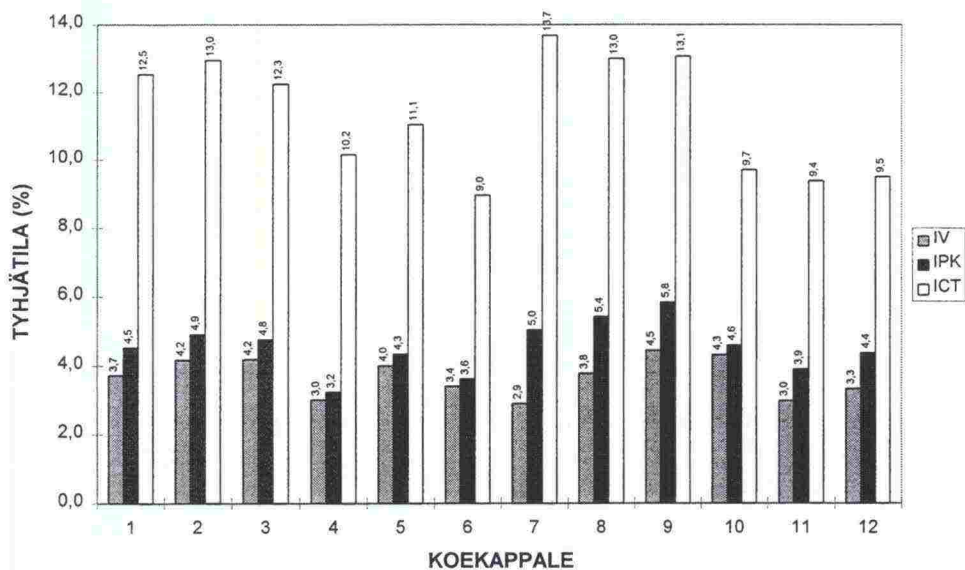
Kaikkien mittaustulosten keskiarvot ja keskihajonnat on koottu taulukkoon 5. DOR-tulosten osalta kyse on nimenomaan tarkasteltujen kohtien tulosten keskiarvoista ja -hajonnoista.

Taulukko 5. Tyhjätilatulosten keskiarvot ja keskihajonnat.

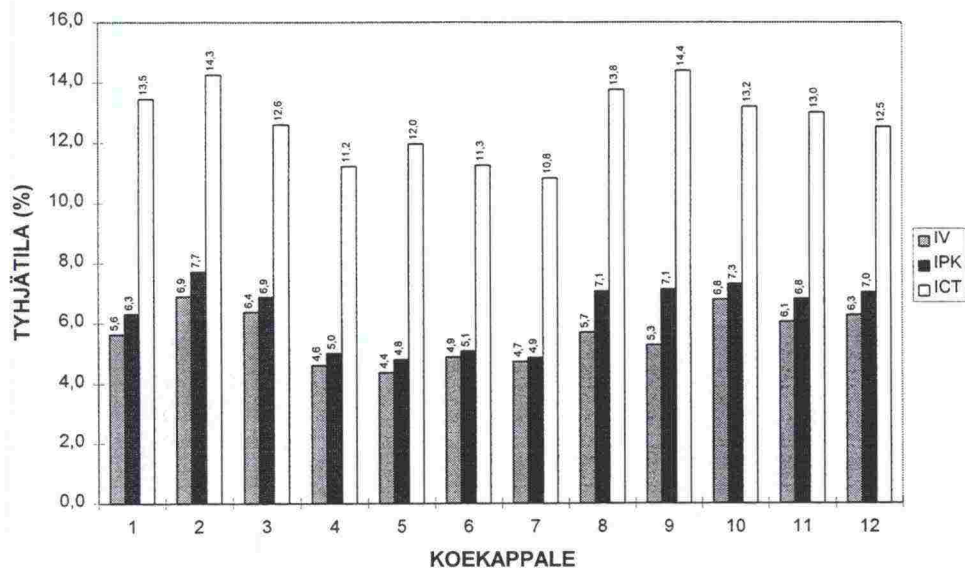
Mittausmenetelmä	Mt 101 porauskohdat 1-13		Kt 54 porauskohdat 1-12	
	ka	kh	ka	kh
<u>Annettu massan tiheys</u>				
DOR 1 m keskiarvo	4,0	3,7	-	-
DOR 5 m keskiarvo	4,7	3,6	3,9	1,5
Ilma-vesipunnitus	5,0	1,5	2,6	0,8
Imeytys-pintakuivausmenetelmä	6,3	2,1	3,0	1,0
Ulkomittamenetelmä	8,6	3,7	6,5	1,9
Muovikalvo	9,8	3,4	5,7	1,5
Sahattu ilma-vesipunnitus	4,7	1,8	2,4	1,1
Sahattu imeytys-pintakuivausmen.	5,6	2,2	2,7	1,2
Sahattu ulkomittamenetelmä	6,4	3,3	3,8	1,7
<u>Mitattu massan tiheys</u>				
Ilma-vesipunnitus	4,1	1,4	3,7	1,4
Imeytys-pintakuivausmenetelmä	5,4	2,1	4,1	1,6
Ulkomittamenetelmä	7,6	3,8	7,6	2,4
Muovikalvo	8,9	3,4	6,8	2,1
Sahattu ilma-vesipunnitus	3,8	1,7	3,5	1,7
Sahattu imeytys-pintakuivausmen.	4,6	2,2	3,8	1,8
Sahattu ulkomittamenetelmä	5,4	3,4	4,8	2,3

3.2 Mittaukset laboratorionäytteistä

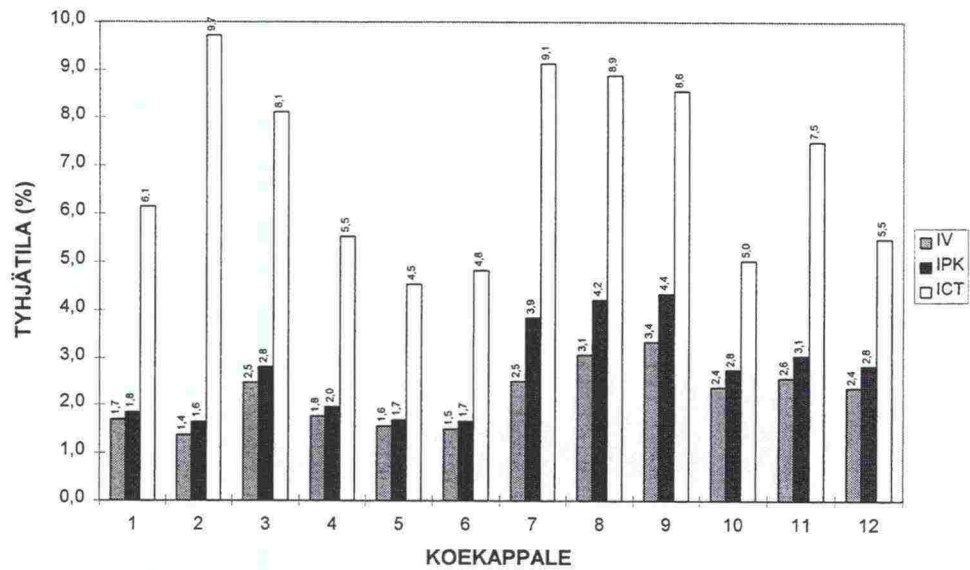
Laboratoriossa valmistetuista koekappaleista tyhjätiloja määritettäessä käytettiin etukäteen annettua massan tiheyttä. ICT-näytteissä, joissa käytettiin pienempää sideainepitoisuutta massan tiheys määritettiin laskennallisesti annetusta arvosta. Kuvissa 21-22 ovat ICT 100-näytteistä määritetyt tyhjätilat sekä kuvissa 23-26 ICT 150-näytteistä saadut vastaavat arvot.



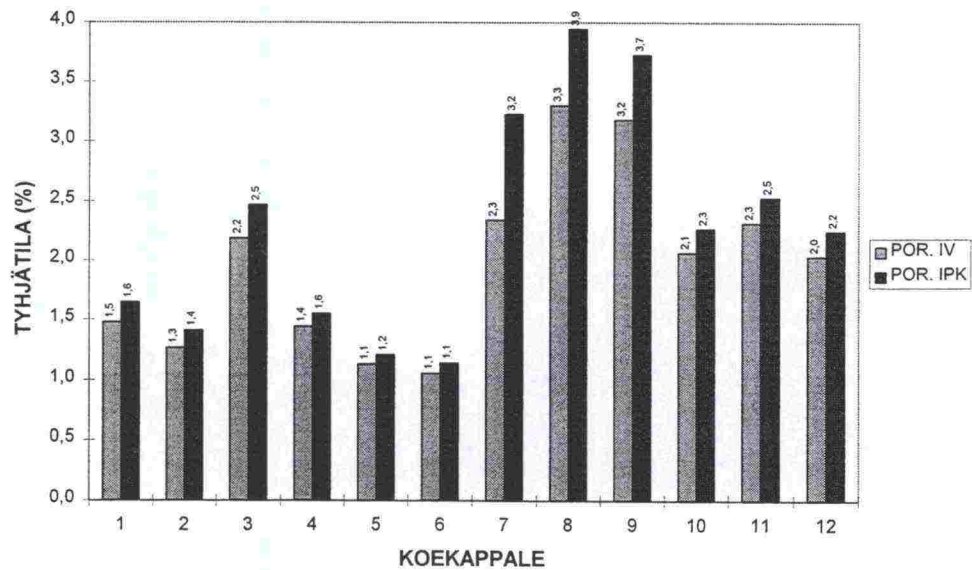
Kuva 21. Tyhjätilamittauks tulokset ICT 100-laitteella Mt 101:n massasta valmistetuista näytteistä.



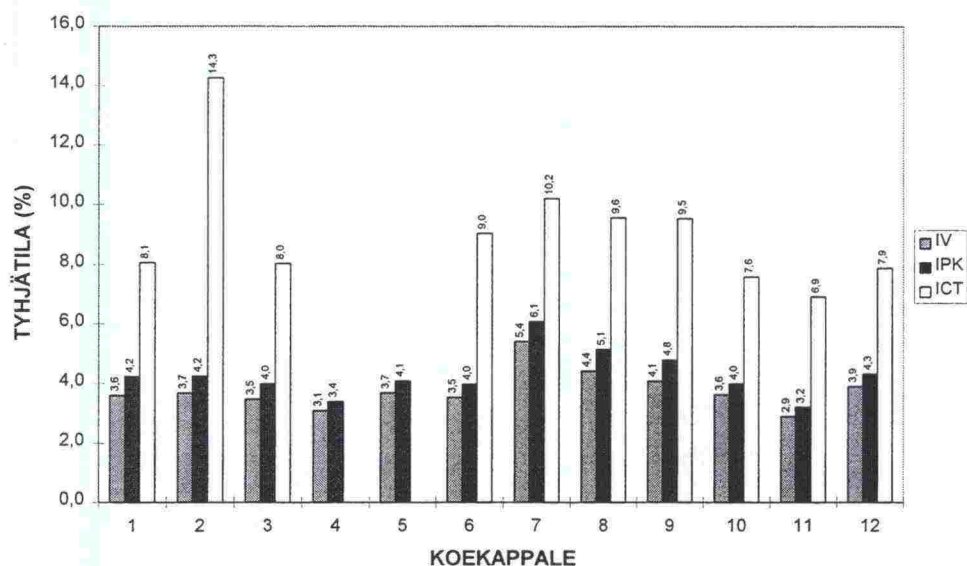
Kuva 22. Tyhjätilamittauks tulokset ICT 100-laitteella Kt 54:n massasta valmistetuista näytteistä.



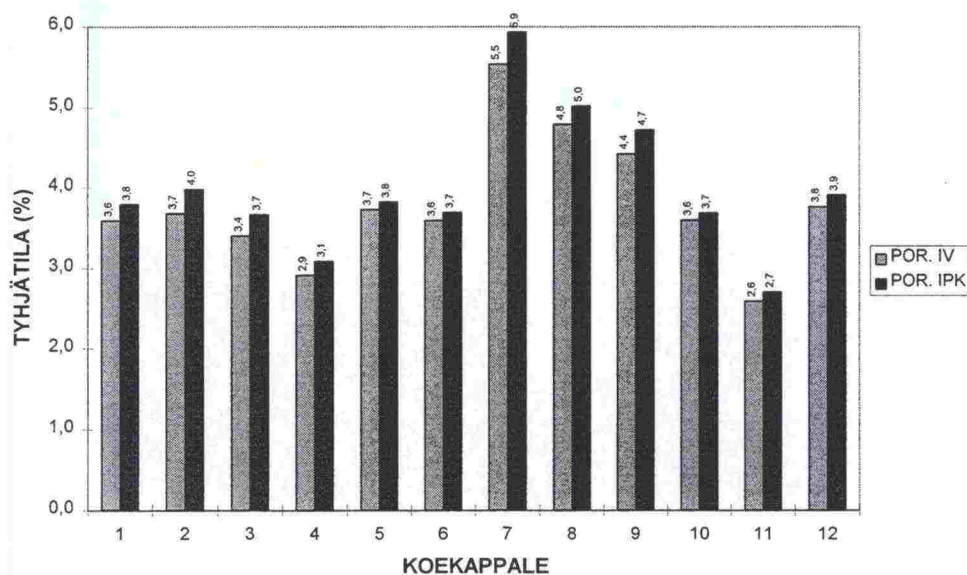
Kuva 23. Tyhjätilamittaustulokset ICT 150-laitteella Mt 101:n massasta valmistetuista näytteistä.



Kuva 24. Tyhjätilamittaustulokset ICT 150-laitteella Mt 101:n massasta valmistetuista ja poratuista näytteistä.

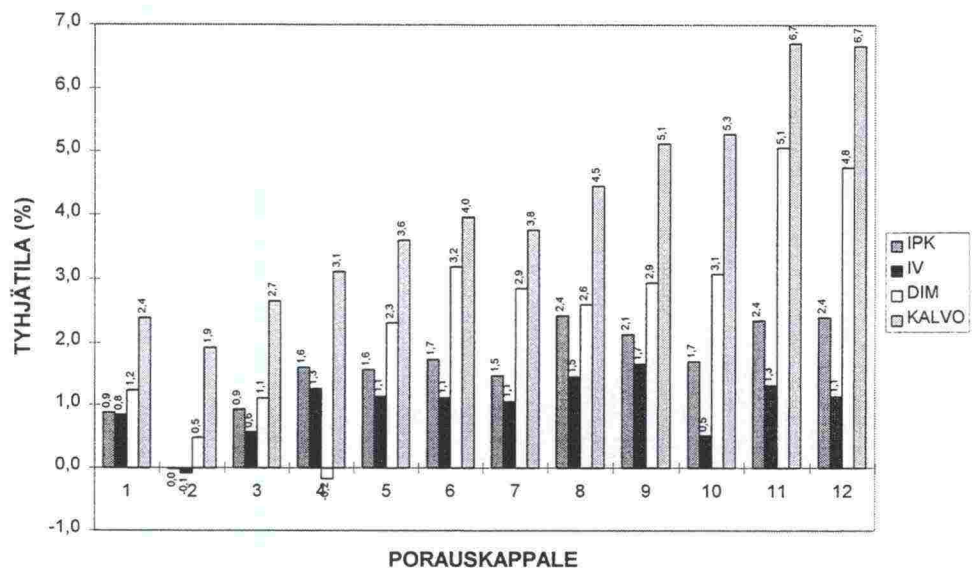


Kuva 25. Tyhjätilamittaustulokset ICT 150-laitteella Kt 54:n massasta valmisteista näytteistä.

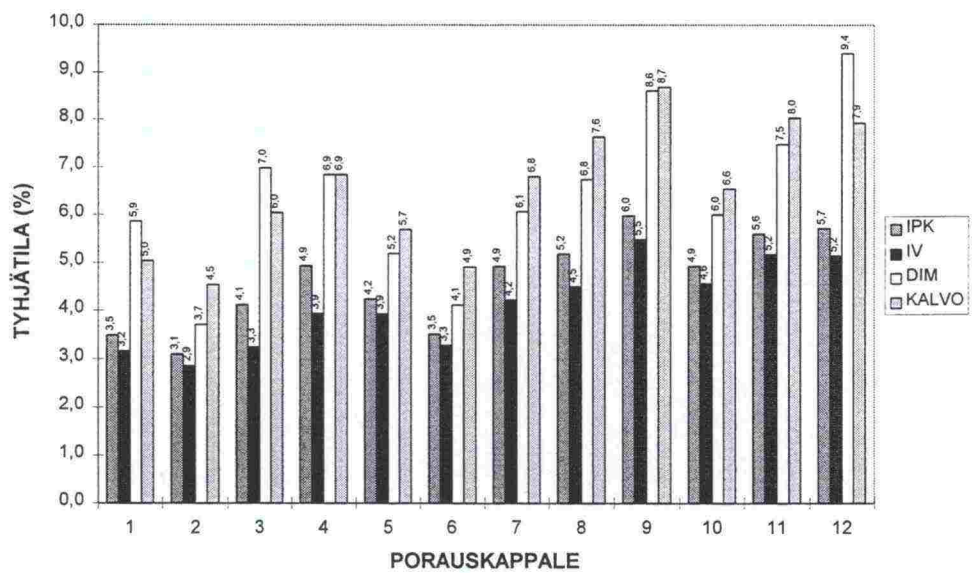


Kuva 26. Tyhjätilamittaustulokset ICT 150-laitteella Kt 54:n massasta valmisteista ja poratuista näytteistä.

Laatoista poratuista koekappaleista saadut tulokset ovat kuvissa 27-28. Laattojen valmistuksessa käytetyssä keinojyrässä oli laattojen valmistuksen aikaan vika, joka aiheutti laattojen päiden epätasaisen tiivistymisen. Tästä syystä tyhjätilat poikkeavat laatan eri päistä poratuissa koekappaleista jonkin verran.



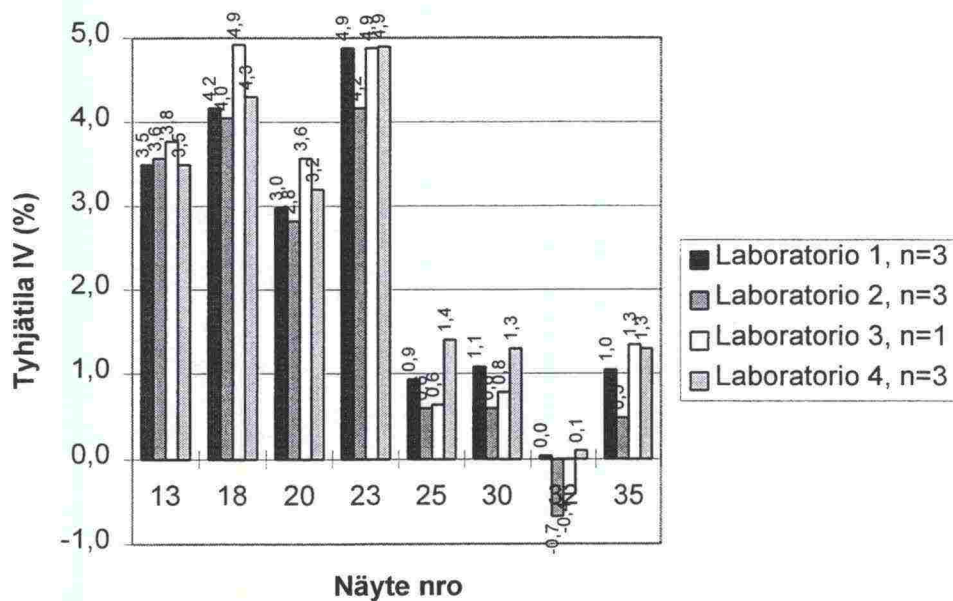
Kuva 27. Tyhjätilamittaustulokset Mt 101:n massasta tiivistetyistä laatoista poratuista koekappaleista.



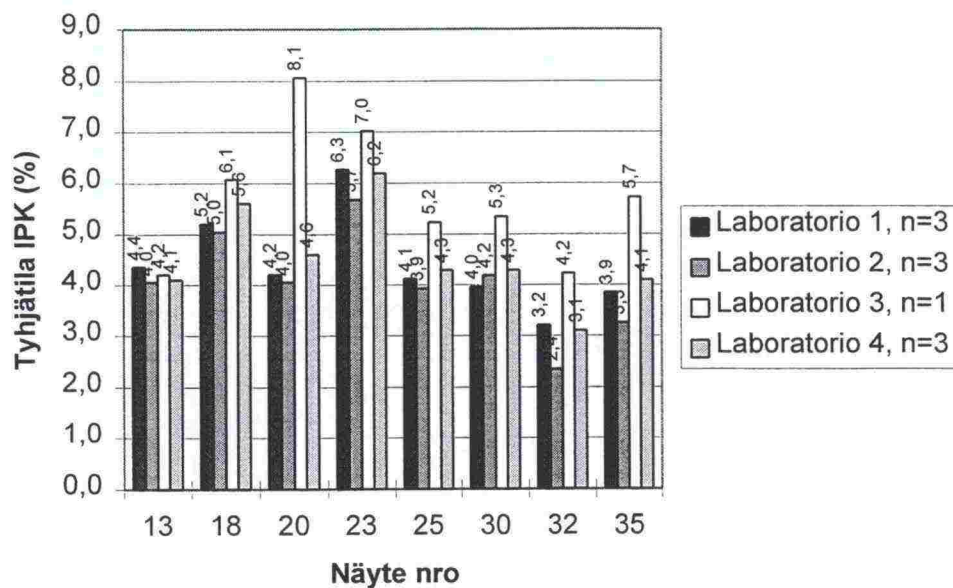
Kuva 28. Tyhjätilamittaustulokset Kt 54:n massasta tiivistetyistä laatoista poratuista koekappaleista.

3.3 Rengaskoe

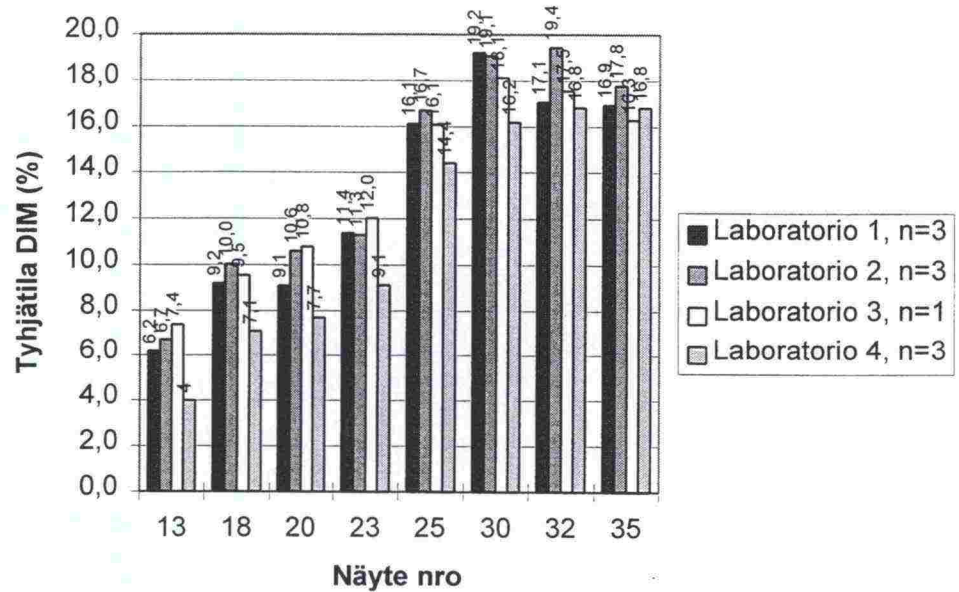
Rengaskokeen tulokset ovat kuvissa 29-31.



Kuva 29. Rengaskokeen tyhjätilan määrittäytulokset ilma-vesipunnituksella.



Kuva 30. Rengaskokeen tyhjätilan määrittäytulokset imeytys-pintakuivausmenetelmällä.



Kuva 31. Rengaskokeen tyhjätilan määrittäytulokset ulkomittamenetelmällä.

3.4 Muut mittaukset

Tutkimusaineistoa tielaitoksen geokeskuksesta kertyi kaikkiaan 125 po-rauskappaleesta. Tulokset ovat liitteessä 4.

4 TULOSTEN TARKASTELU

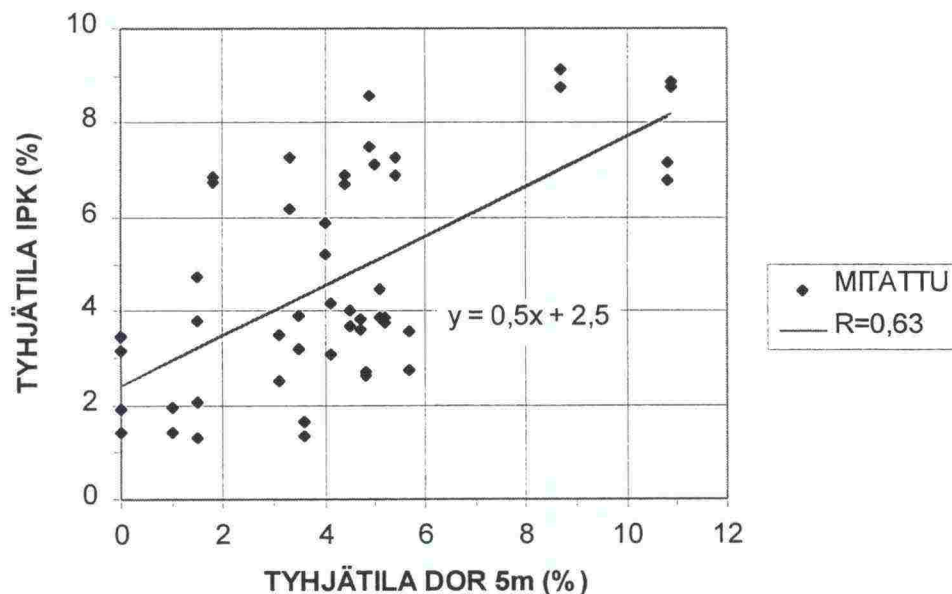
4.1 Mittaukset päällystyskohteista

Asfalttinormien 1995 mukaisesti tyhjätila SMA-päällysteestä tulisi määrittää IPK-menetelmällä, joten tarkasteluissa muita menetelmiä on verrattu pääasiassa sen antamiin tuloksiin.

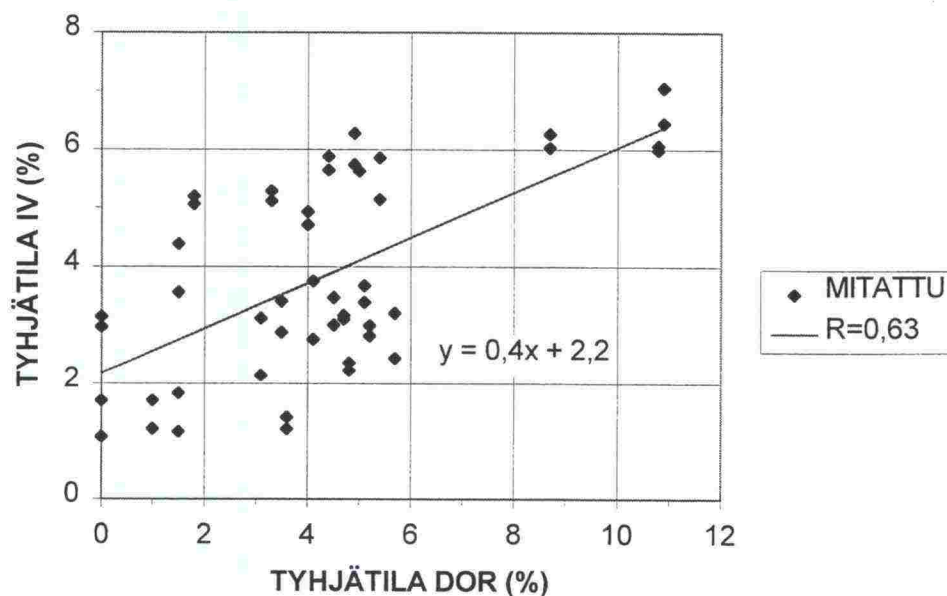
Jotta tulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia, käytettiin DOR-menetelmän vertaamisessa muihin menetelmiin etukäteen annettuja massan tiheysarvoja. Porausnäytteistä tehtyjen määritysten keskinäisessä vertailussa käytettiin kuitenkin laboratorioissa määritettyjä massan tiheyksiä.

Tulosten mukaan näyttää siltä, etteivät 1 m ja 5 m keskiarvot DOR-mittauksessa poikkea merkittävästi toisistaan. Näin voimme olettaa, että vaikka 5 m keskiarvo kuvaakin laajempaa päällysteen aluetta kuin poranäytteet edustavat, ei eron pitäisi olla merkittävä. Voidaan siis olettaa, että poranäytteistä saatava tulos on samaa luokkaa kuin DOR-tulosten 5 m keskiarvo.

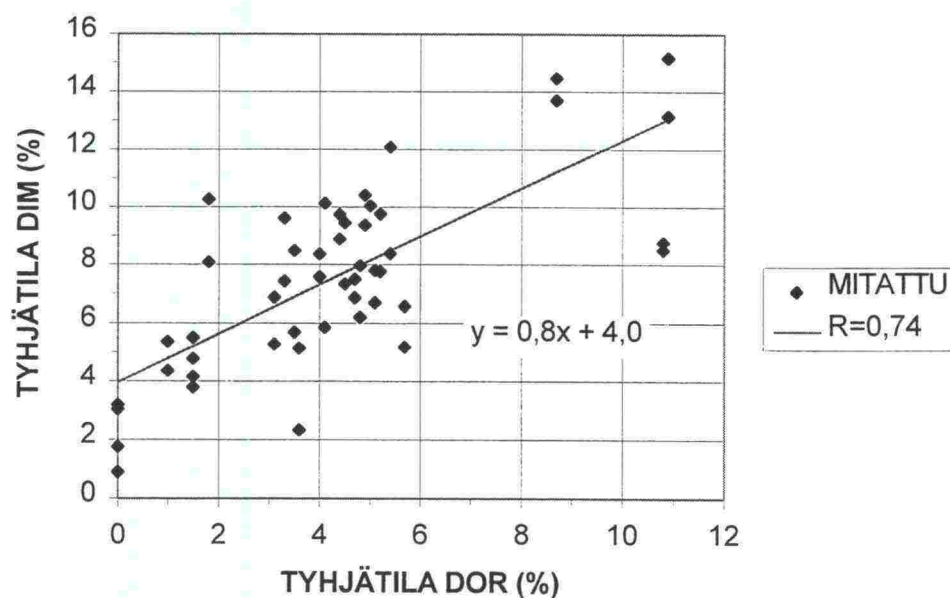
Kuvissa 32 - 34 on esitetty saadut regressiosuorat DOR:lla mitattujen 5 m keskiarvojen ja IPK-, IV- sekä tilavuusmittamenetelmien tulosten välillä. Tuloksissa on mukana molempien koekohteiden aineisto. Erikseen tarkasteltuina aineistot tuottavat paremman yhteyden, mutta kokonaisuuden kannalta on tärkeämpää, mikä on kyseisten menetelmien yhteys.



Kuva 32. DOR-tyhjätilatulosten ja imeytys-pintakuivaustulosten vertailu ja regressioanalyysi.



Kuva 33. DOR-tyhjätilatulosten ja ilma-vesipunnitusten vertailu ja regressioanalyysi.

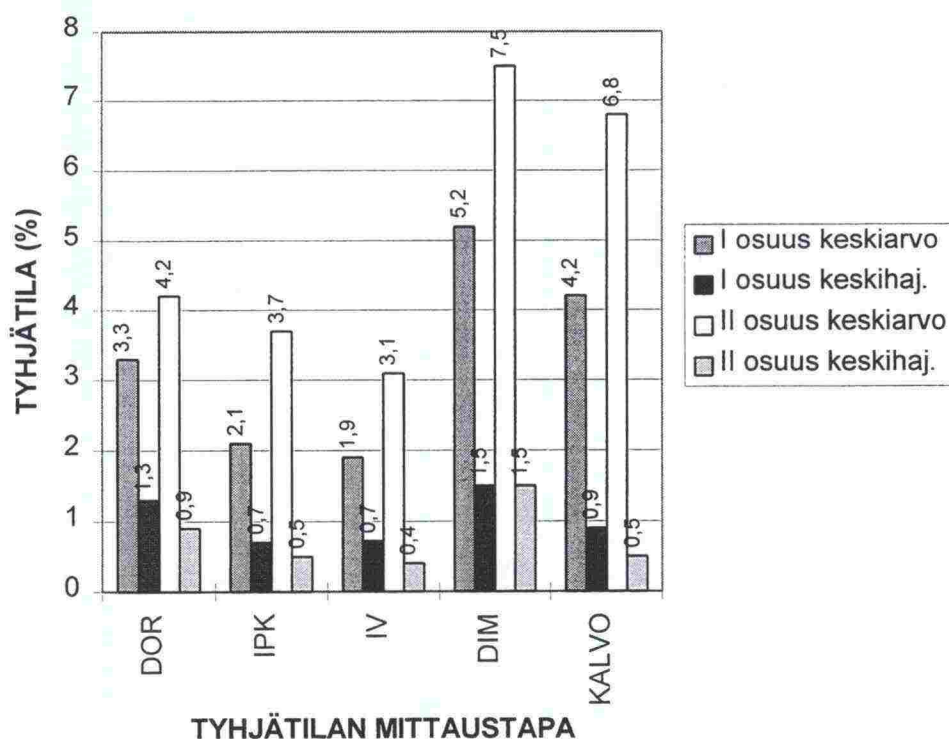


Kuva 34. DOR-tyhjätilatulosten ja ulkomittamenetelmän vertailu ja regressioanalyysi.

Regressioanalyysien perusteella laboratoriomittausten ja DOR-mittausten välillä vallitsee yhteys. Kuitenkin odotusarvoon nähden tulos on yllättävän huono. Tulokset korreloivat parhaiten ulkomittamenetelmällä saatujen tulosten kanssa, vaikkakin tasoero on huomattava. Jos tarkastellaan tilannetta asfalttinormien antamien suositusten kannalta (arvosteluperusteena IPK:lla määritetty tyhjätila), ei näiden tulosten perusteella voida tyhjätilan suuruuden arvostelua tehdä DOR-mittauksen perusteella. Lisäksi todelliset massan tiheydet, joita DOR-mittauksessa ei voi joka kohdasta todeta, voivat

aiheuttaa merkittäviäkin tulosvirheitä. DOR:lla mitatun tyhjätilan hajontaa voitaneen pitää jonkinlaisena päällysteen tasalaatuisuuden mittarina: saatun tulokseen vaikuttaa kuitenkin merkittävästi materiaalien tasalaatuisuus, erityisesti tiheysvaihtelut.

Kt 54:n kohteesta oli käytettävissä aineisto, jonka perusteella voidaan verrata jatkuvan DOR-mittauksen tulosta porauskappaleista saatuihin tuloksiin. Kuvassa 35 on esitetty saadut keskiarvot ja keskihajonnat käytetyillä menetelmillä kahdella tutkitulla osuudella. Porakappaleiden määrät osuudella I oli 10 kpl ja osuudella II 14 kpl.



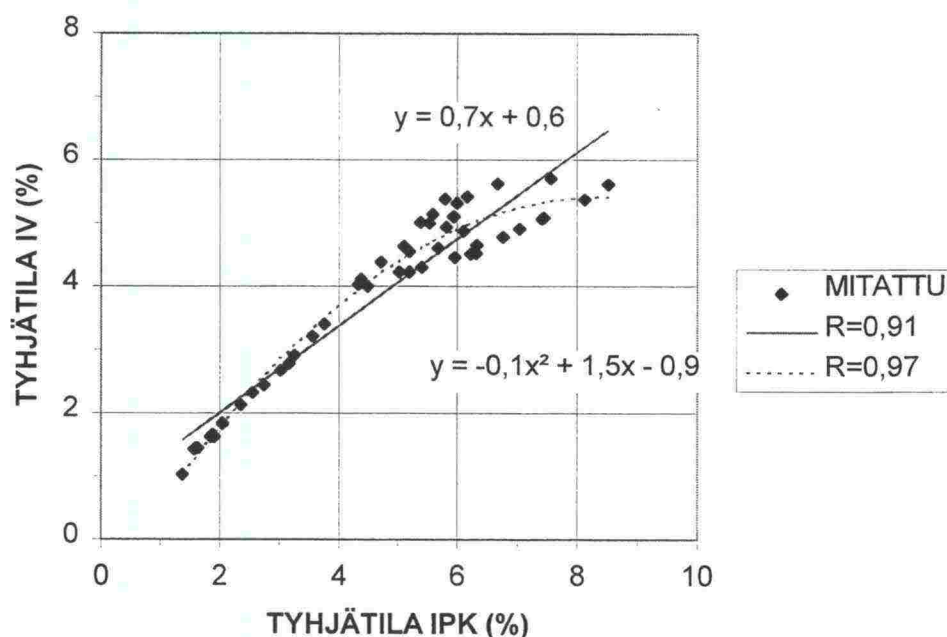
Kuva 35. Tyhjätilojen keskiarvot ja hajonnat eri menetelmillä mitattuina kahdella DOR-mittausosuudella.

Tulosten perusteella keskihajonta on DOR-tuloksissa jonkin verran suurempi kuin normaalimenetelmin (IPK ja IV) määritetyissä tyhjätiloissa. Ulkomittamenetelmällä saadaan suurimmat hajonnat jo menetelmän luonteesta johtuen, mutta toisaalta tyhjätilojen keskiarvokin on selvästi suurin. Kalvolla mitattujen tyhjätilojen hajonnat vastaavat IPK:lla saatuja. Merkittävä ero tuloksissa on tyhjätilojen keskiarvoissa. DOR-menetelmä antaa IPK-menetelmään nähden noin 0,5-1,2 % suuremman tyhjätilan, ulkomitta- ja kalvomenetelmään nähden taas noin 2-3% alemman tyhjätilan. Tässä tapauksessa tuloserot ns. vaatimuseroon (IPK) ei ole merkittävä siinä mielessä, että tyhjätilavaatimuksen yläraja on 6 %. Kuitenkin tapauksessa, jossa liiku-

taan lähellä vaatimusrajoja saattaa DOR:n keskiarvotulos olla epäedullinen, suuntaan tai toiseen.

Kuviin 36 - 39 on koottu laboratorioissa porakappaleista eri menetelmin mitattujen tyhjätilojen vertailut ja regressioanalyysit.

IV-menetelmällä saadaan erittäin hyvä yhteys IPK-menetelmään nähden, mikä menetelmien samankaltaisuus huomioon ottaen on ymmärrettävää. Kuitenkin yhteys on enemmänkin epälineaarinen, kuten kuvan 34 esityksestä voidaan havaita. IV-menetelmällä saadaan suhteessa IPK-menetelmään nähden sitä pienempi tyhjätila mitä harvempi koekappale on kyseessä. Lineaarinen osuus on käytännössä se alue, jolla IV-menetelmän käyttö on järkevää. Tällöin IV-tyhjätila on alle 4 %.

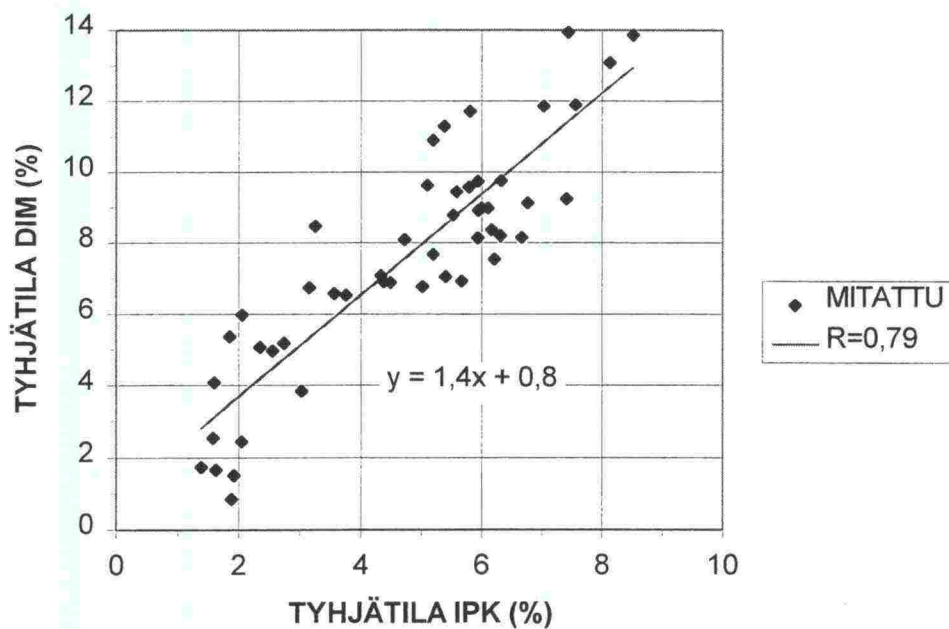


Kuva 36. Imeytys-pintakuivausmenetelmällä ja ilma-vesipunnituksella mitattujen tyhjätilojen vertailu.

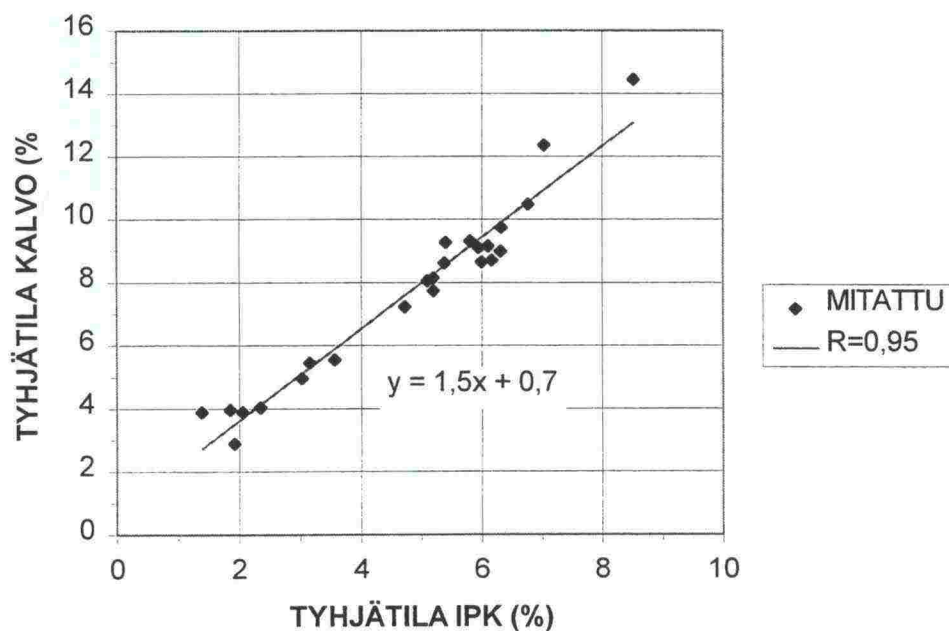
Ulkomittojen mukaan määritetty tyhjätila korreloi melko hyvin IPK-tulosten kanssa. Yhteys on tämän aineiston perusteella hyvin lineaarinen ainakin 12 % asti. Tyhjätilan ollessa yli 12 % DIM-menetelmän tulokset kasvavat aavistuksen verran IPK-menetelmän tuloksiin nähden. Tätä käsitystä tukevat voimakkaasti myös kappaleessa 4.4 tarkastellut rengaskokeen tulokset. IPK-tyhjätilan raja-arvo, joka asfalttinormeissa on asetettu 6 %:iin, vastannee DIM-menetelmällä mitattuna noin 9 % tyhjätilaa. Alaraja 2 % vastaa vasti DIM-menetelmällä mitattuna olisi noin 3,5 %. Ottaen kuitenkin huomioon DIM-menetelmän mittaustapahtumasta aiheutuvat epävarmuustekijät, raja-arvot 3...10 % on suositeltavampi.

Vaihtelua DIM-menetelmässä aiheuttaa erityisesti se, että mittatulkin päät asettuvat sattumanvaraisesti pintahuokosen pohjalle tai kiven päälle. Näin

tulokset voivat vaihdella merkittävästikin. Tiheillä, pinnaltaan karkeilla kapaleilla, saatetaan tuloksena saada jopa negatiivisia tyhjätiloja.

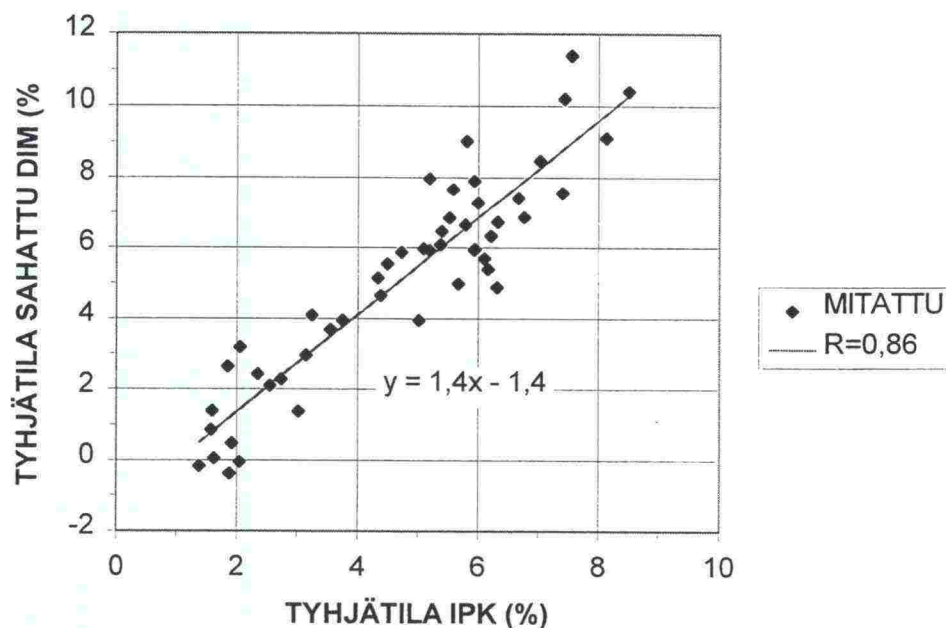


Kuva 37. Imeytys-pintakuivausmenetelmän vertailu ulkomittamenetelmällä mitattuihin tyhjätiloihin.



Kuva 38. Imeytys-pintakuivausmenetelmän tulosten vertailu muovikalvoa käytäen mitattuihin tyhjätiloihin.

Muovikalvoa käytettäessä yhteys IPK-menetelmään on selvästi parempi kuin DIM-menetelmällä. Vaikka aineisto on vain puolet DIM-menetelmästä, on ero merkittävä. Jos ajatellaan IPK:ta vastaavia laadunarvostelun raja-arvoja, ne olisivat 3,5...9 %.



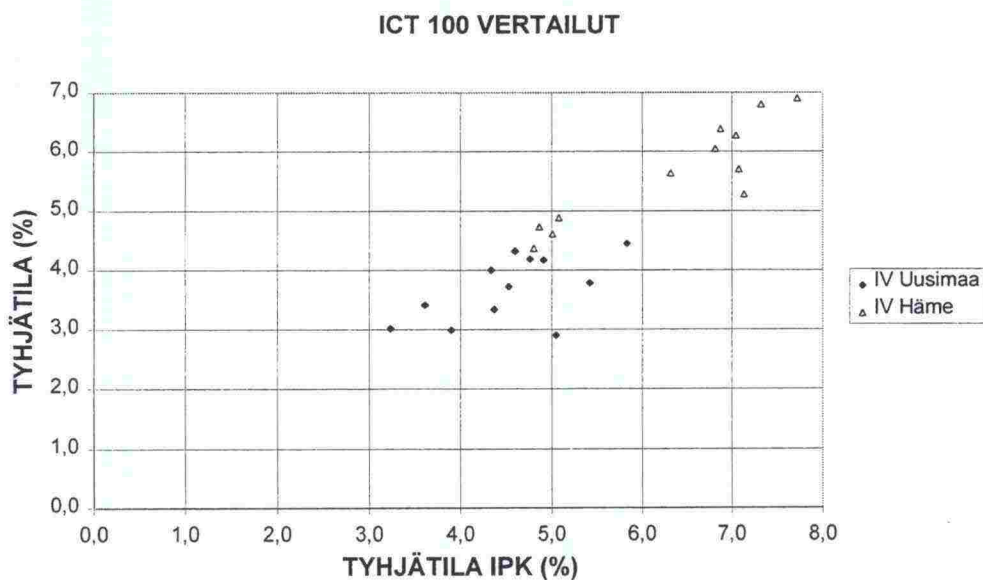
Kuva 39. Imeytys-pintakuivausmenetelmän tulosten (sahaamattomana) vertailu sahatsuista koekappaleista ulkomittamenetelmällä mitattuihin tyhjätiloihin.

Suhteessa IPK-tyhjätiloihin sahatsuista koekappaleista DIM-menetelmän mukaan mitatut tyhjätilat eivät vaihteile niin voimakkaasti kuin kokonaisista koekappaleista mitattuna. Tämä on seurausta siitä, että sileiksi sahatsuista kappaleista ulkomittojen mittaaminen on selkeämpää. Porakappaleissa oli vielä pintahuokosia, mikä aiheutti mittauksissa myös negatiivisia tyhjätiloja.

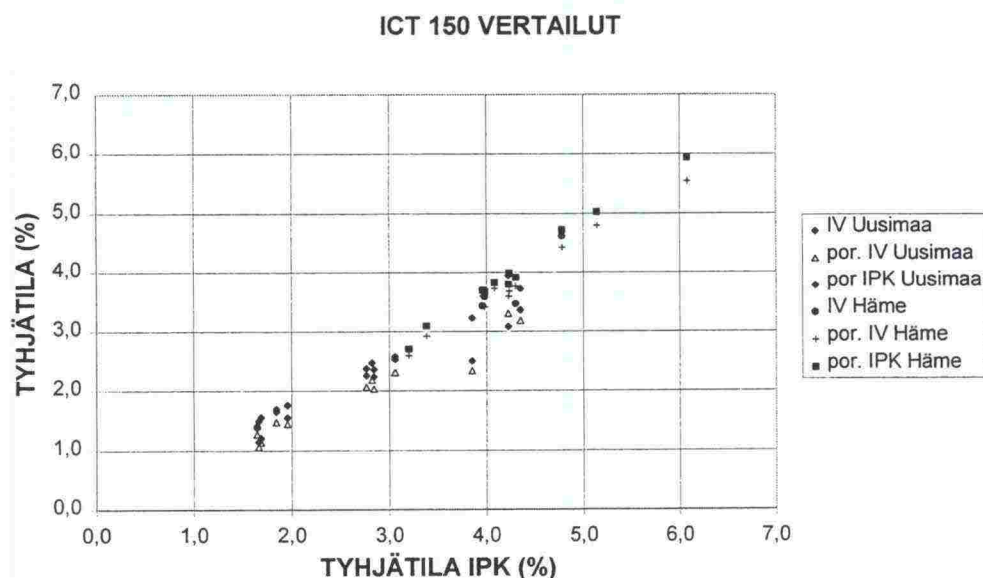
IPK:n ja sahattun DIM:n suuruusluokat ovat hyvin lähellä toisiaan. Verrattaessa sahatsuista ja kokonaisista koekappaleista mitattuja DIM-tyhjätiloja toisiinsa on pudotus merkittävä. Merkittävä osa kokonaisista kappaleista mitattua tyhjätilasta on avoimissa pintahuokosissa. Kun tässä tapauksessa koekappaleista poistettiin noin 1/3, niin tyhjätila pintaosassa on ollut vähintään 2,5-kertainen alempaan osaan verrattuna. DIM-mittauksessa on SMA-massoilla siis kyse paljolti siitä, että mitataan pääasiassa pinnan rakennetta ja sen huokoisuutta. Kulumisen kannalta ajateltuna tämä on ehkä jopa suositeltavaa, mutta deformaation osalta tulos saattaa olla harhaanjohtava. Päällysteen paksuus vaikuttaa saatuun tulokseen tässä menetelmässä varsin merkittävästi.

4.2 Mittaukset laboratorionäytteistä

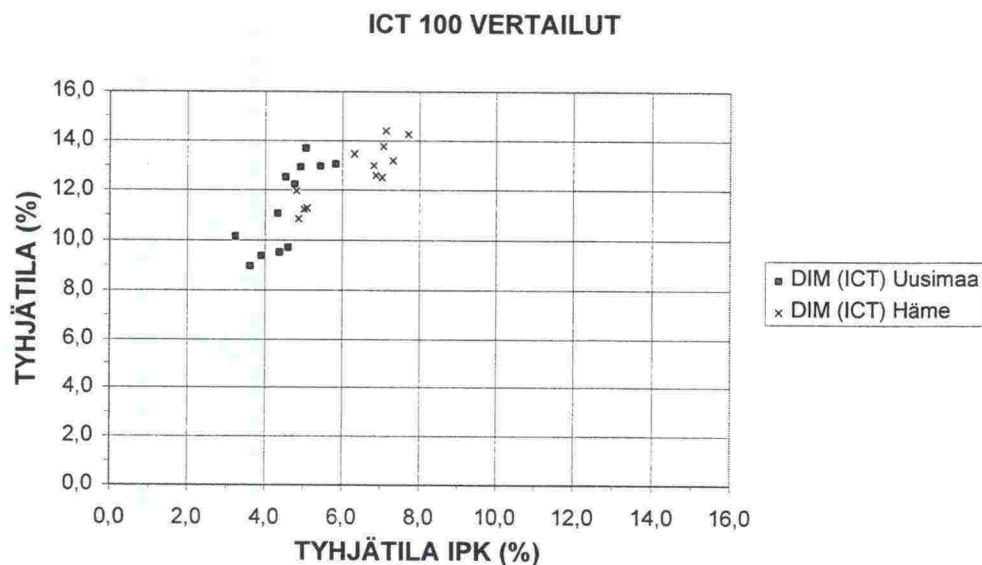
Sekä ICT 100:lla että ICT 150:lla valmistetuista koekappaleista IV-menetelmällä mitatut tyhjätilat ovat selvässä yhteydessä IPK-tyhjätiloihin nähden (kuvat 40 ja 41). Tulokset tukevat kappaleessa 4.1 saatua käsitystä aavistuksenomaisesta yhteyden epälineaarisuudesta. ICT 150:n näytteistä porattiin myös \varnothing 100 mm poranäytteet ja tuloksista voidaan todeta, ettei tyhjätila IPK:lla tai IV:lla mitattuna juurikaan poikkea kokonaisista kappaleista.



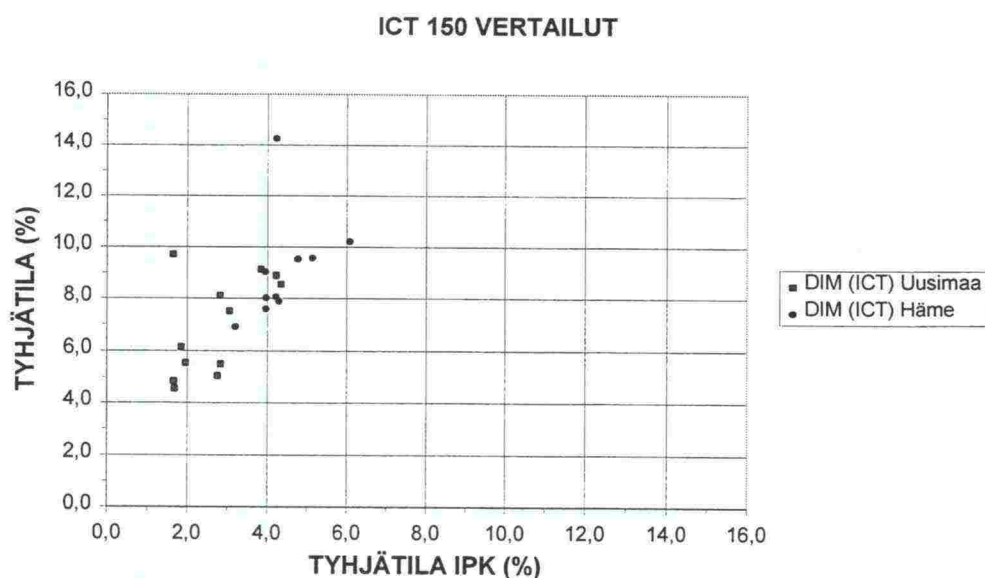
Kuva 40. Ilma-vesipunnituksella ja imeytys-pintakuivausmenetelmällä mitatut tyhjätilat ICT 100 -koekappaleista.



Kuva 41. Ilma-vesipunnituksella ja imeytys-pintakuivausmenetelmällä mitatut tyhjätilat kokonaisista ja \varnothing 100 mm kokoon poratuista ICT 150 -koekappaleista.

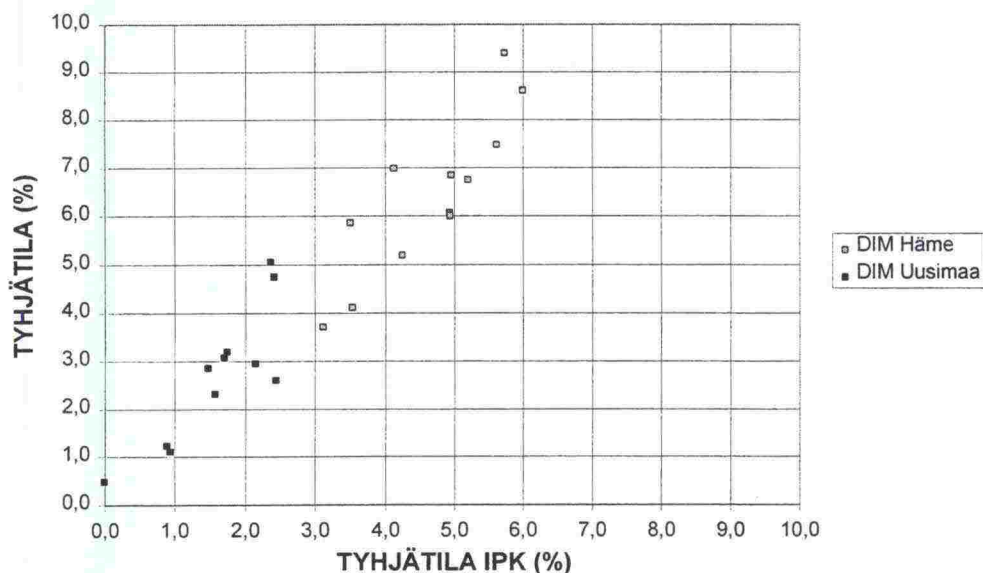


Kuva 42. ICT:n antamien tiheysarvojen ja imeytys-pintakuivausmenetelmän avulla laskettujen tyhjätilojen vertailu ICT 100 -koekappaleista.



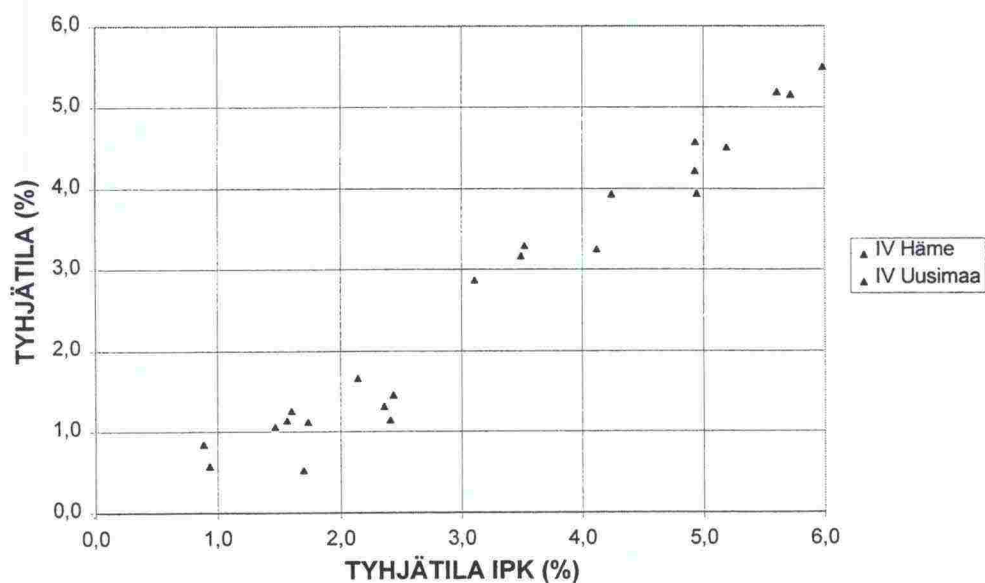
Kuva 43. ICT:n antamien tiheysarvojen ja imeytys-pintakuivausmenetelmän avulla laskettujen tyhjätilojen vertailu ICT 150 -koekappaleista.

ICT:llä mitattujen kappaleiden korkeuksien perusteella laskettiin kappaleiden tiheydet ja vastaavat tyhjätilat (kuvat 42 - 43). Kuten havaitaan, on tuloksien välillä selkeä lineaarinen yhteys. Tasoero on kuitenkin huomattava: tämä on ymmärrettävää, sillä ICT-laitehan mittaa koekappaleen tilavuuden olettaen sen olevan säännöllinen ja sileä ulkomitoiltaan. Todellisuudessa pinta voi olla kuitenkin hyvin epätasainen, varsinkin SMA-massoilla.



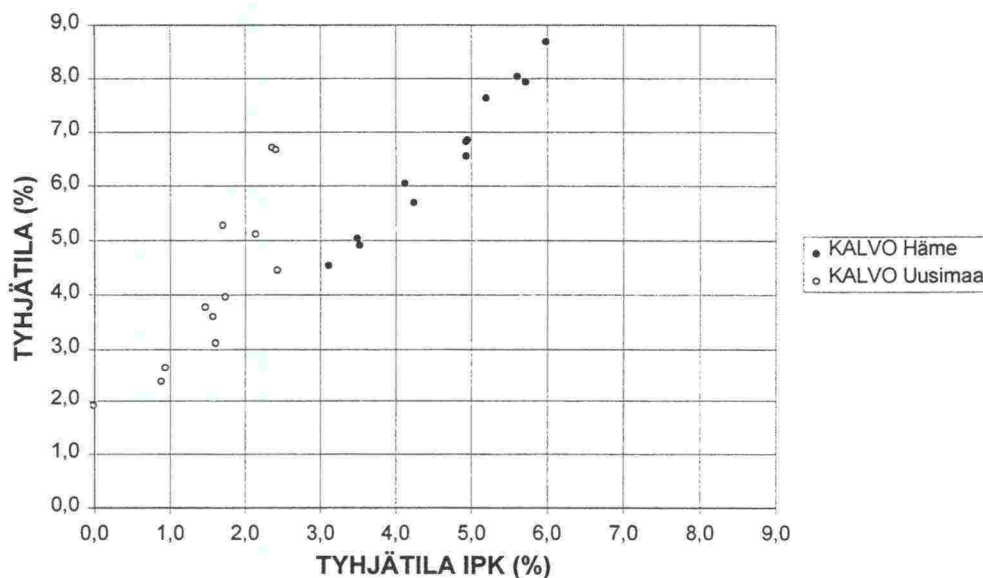
Kuva 44. Laatasta porattujen koekappaleiden tyhjätilat imeytys-pintakuivausmenetelmällä ja ulkomittamenetelmällä mitattuina.

Kuvassa 44 on verrattu laboratoriossa valmistetusta laatasta porattujen koekappaleiden tyhjätiloja IPK- ja DIM-menetelmällä mitattuina. Yhteys on lineaarinen ja vastaa pitkälti kappaleessa 4.1 saatuja tuloksia. Hajonta tosin on selvästi pienempää.



Kuva 45. Laatasta porattujen koekappaleiden tyhjätilat imeytys-pintakuivausmenetelmällä ja ilma-vesipunnituksella mitattuina.

IV- ja IPK-tyhjätiloilla (kuva 45) on selkeä lineaarinen yhteys. Aavistuksen verran muista tuloksista poiketen alatason tyhjätiloissa IV-tulosten ero IPK-tuloksiin on hieman suurempi. Ero ei kuitenkaan ole merkittävä.



Kuva 46. Laatasta porattujen koekappaleiden tyhjätilat imeytys-pintakuivausmenetelmällä ja muovikalvoa käyttäen mitattuina.

Muovikalvoa käyttäen laatasta saadaan tyhjätilat, joiden yhteys IPK-tyhjätiloihin nähden (kuva 46) vastaa tieltä poratuista näytteistä saatuja tuloksia (kappale 4.1). Kuten tieltä poratuista kappaleista voitiin myös huomata, tulosten hajonta kalvoa käyttäen on selvästi alhaisempi kuin DIM-menetelmällä.

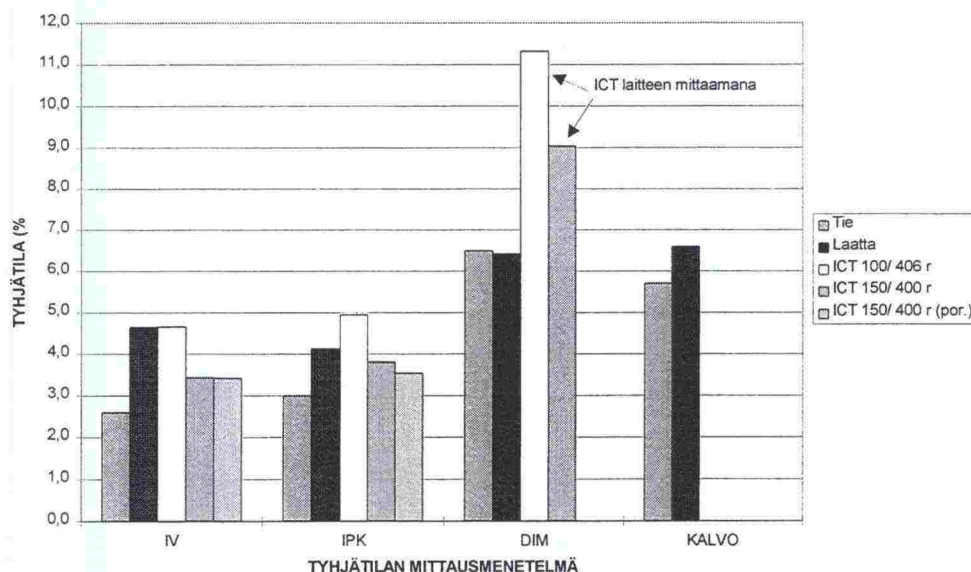
4.3 Päällystyskohteen ja laboratorionäytteiden tulosten vertailu

Tulosten vertailu tieltä porattujen ja toisaalta laboratoriossa valmistettujen näytteiden osalta oli järkevää tehdä vain Kt 54:n näytteistä. Mt 101:n porausnäytteet oli porattu siten, että ne vaihtelivat hyvin voimakkaasti eikä ns. keskimääräistä tulosta voitu siten saada.

Kuvassa 47 on esitetty tieltä poratuista ja laboratoriossa tehdyistä näytteistä saadut tulokset eri tutkimusmenetelmillä.

ICT-koekappaleista (400/406 kierrosta tiivistetyt) sekä laatasta ilma-vesipunnituksella sekä imeytys-pintakuivausmenetelmällä mitatut tyhjätilat vastaavat kohtalaisen hyvin tieltä porattuja näytteitä osalta. Sen sijaan ulkomittojen mukaan määritetyt tyhjätilat tieltä ja laatasta poratuista näytteistä eivät vastaa ICT-kokeessa mitatun koekappaleen korkeuden perusteella laskettuja tuloksia. Tämä on mitä ilmeisimmin seurausta siitä, että ICT:ssä mitataan kappaleen ulkomitat olettaen se säännölliseksi, jolloin kaikki huokokset sisältyvät koekappaleen laskettuun tilavuuteen. Myös se, että ICT koekappaleissa on "avointa pintaa" joka puolella koekappaletta, vaikuttanee tulokseen Ulkomittamenetelmässä mittauksessa käytetty työntötulkki mahdollistaa sen, että kappaleen pinnassa olevat suurimmat epätasaisuudet jäävät pois koekappaleen tilavuudesta. Näin ollen vertailu ICT:n ja toisaalta

kenttätulosten välillä ei ole mahdollista. Tyhjätilan kasvaessa tästä vielä merkittävästi, aiheutuva virhe todennäköisesti pienenee ja tulosten vertailtavuus on mahdollista.



Kuva 47. Tieltä porattujen ja laboratoriossa valmistettujen koekappaleiden tyhjätilat eri menetelmin mitattuina (Kt 54).

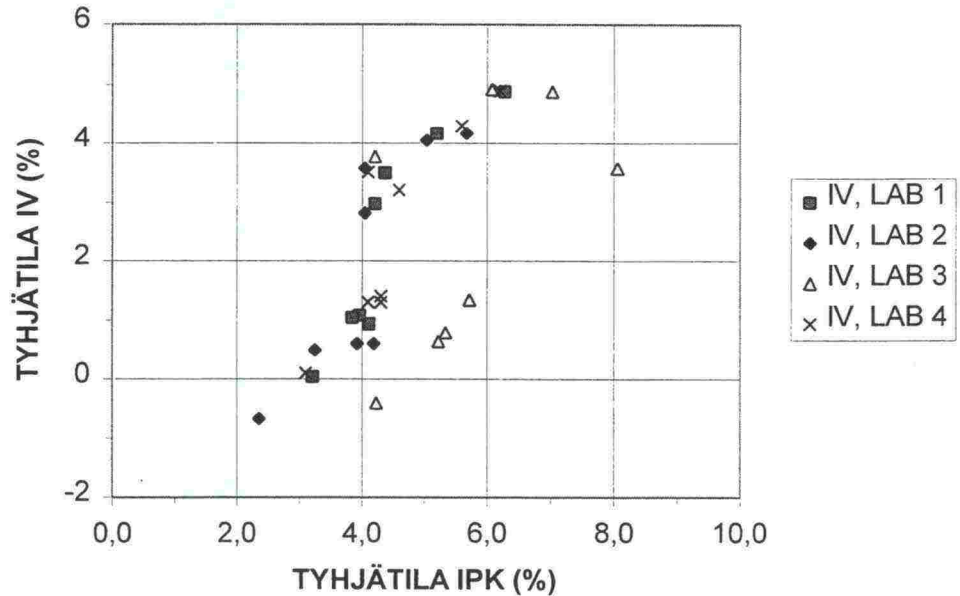
Laatasta poratuista näytteistä saadaan tyhjätilat, jotka vastaavat kohtalaisen hyvin tieltä otetuista näytteistä saatuja arvoja. Erityisesti ulkomittojen mukaan määritetyt tyhjätilat ovat lähes täsmälleen samat. Tämä tulosten suuntaus on varsin ymmärrettävä, koska tiepäällysteen pinta on kovin epätasainen verrattuna laatan pintaan. Toisaalta laboratoriolaatta on paksumpi kuin tielle vedetty kerros ja "pinnan alapuolisen" päällysteen tyhjätila jää helposti aavistuksen verran korkeammaksi. Mittausmenetelmä ei tässä tapauksessa vaikuta vertailtavuuteen.

4.4 Rengaskoe

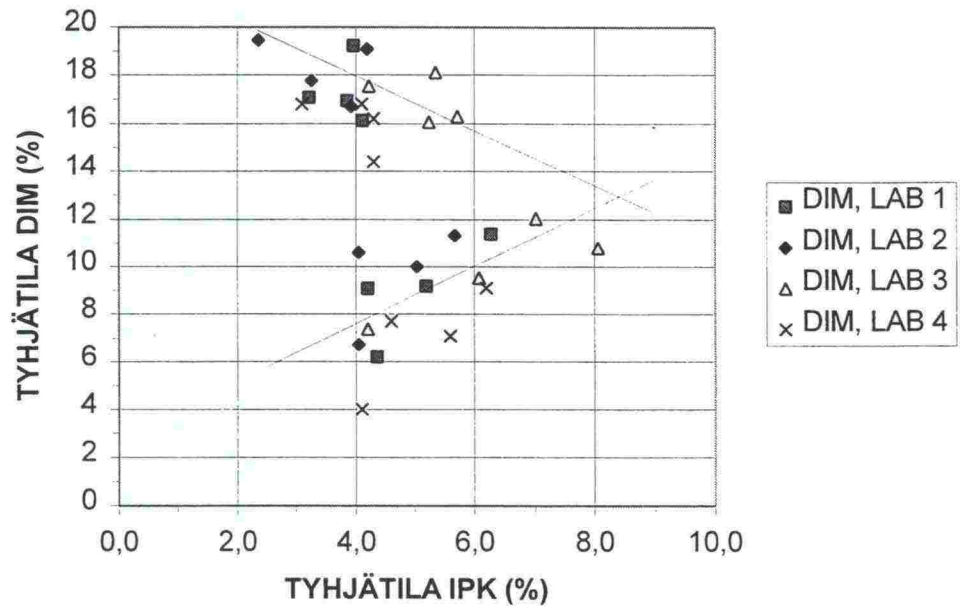
Neljässä laboratoriossa tehdyn rengaskokeen tulokset ovat mielenkiintoisia. Tässä tuloksia tarkastellaan menetelmiä vertailevassa mielessä. Tutkittavat kaksi päällystetyyppiä poikkesivat toisistaan merkittävästi tyhjätilojensa osalta, joten tuloksissa toivottiin näkyvän eroja. Kuvassa 48 esitetty IV- ja IPK-tulosten yhteys ei ehkä juuri tästä syystä ole tyypillisen lineaarinen. Laboratorioiden tuloksissa vaihtelu ei ole kuin yhden laboratorion osalta merkittävää. Negatiiviset tyhjätilat selittyvät sillä, että massan tiheytenä käytettiin laskettua teoreettista tiheyttä. Ilmeisesti todellinen massan tiheys on ollut jonkin verran suurempi.

Erityisen mielenkiintoisia tuloksia saatiin IPK- ja DIM-menetelmän vertailusta (kuva 49). Tuloksissa on havaittavissa, että kun DIM-tyhjätila on alle 12 %, yhteys on lineaarinen. Suuremmilla DIM-tyhjätiloilla IPK-tyhjätilat sen

sijaan ovatkin selvästi alhaisemmat. Selkeä selitys tälle on, että kappaleet ovat jo niin avoimia, että läpäisevät vettä jonkin verran. Samansuuntainen tulos oli aavistuksen verran havaittavissa myös tieltäporatuista kappaleista saaduissa tuloksissa. Tämä puoltaa DIM-menetelmän käyttöä, kun kyseessä ovat suuret tyhjätilat, esimerkiksi yli 12 %.



Kuva 48. Rengaskokeessa tutkittujen koekappaleiden tyhjätilat imeytys-pintakuivausmenetelmällä ja ilma-vesipunnituksella.

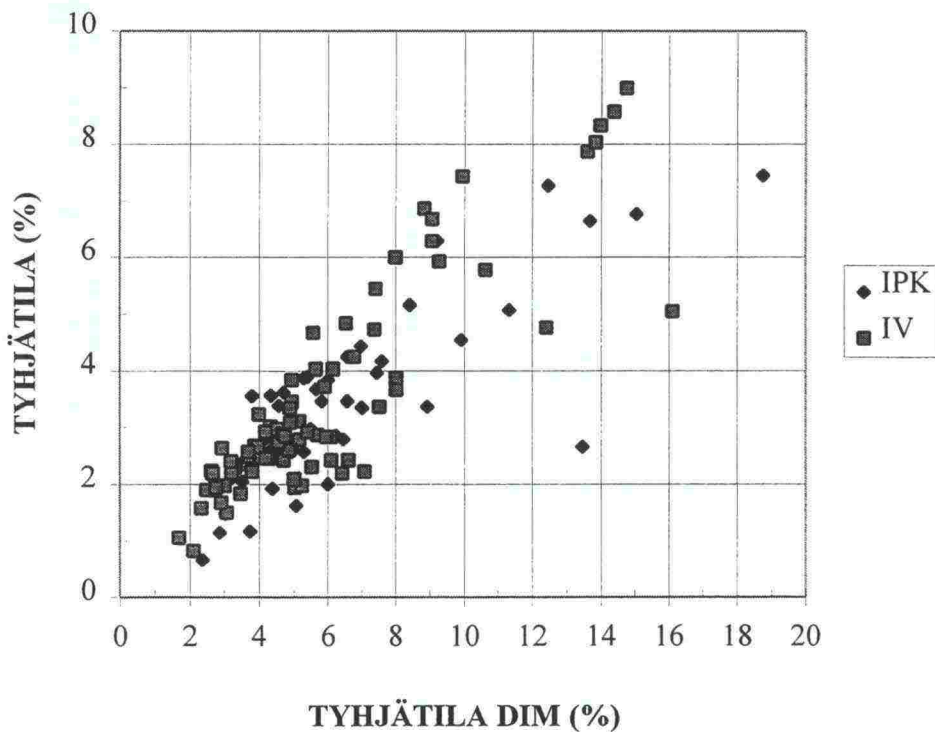


Kuva 49. Rengaskokeessa tutkittujen koekappaleiden tyhjätilat imeytys-pintakuivausmenetelmällä ja ulkomittamenetelmällä.

4.5 Muut mittaukset

Tielaitoksen geokeskuksen luovuttamat mittaustulokset on koottu kuvaan 50. Siinä on verrattu DIM-menetelmän yhteyttä IV- ja IPK-menetelmiin. Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että IV-tyhjätilat on mitattu AB-tyyppisistä massoista ja vastaavasti IPK-tyhjätilat SMA-tyyppisistä massoista. Tulosten yhteys on yllättävä siinä mielessä, että IPK-tulosten oletettiin olevan suhteessa DIM-tuloksiin suurempia kuin IV-tulosten. Ilmeisesti saatun päinvastaiseen tulokseen on syynä se, että AB-päällysteiden pintarakenne ei ole niin avoin kuin SMA:lla, jolloin vesi ei pääse tunkeutumaan yhtä helposti päällysteen huokosiin. Näin ollen ero IV- ja DIM-menetelmällä mitattujen tyhjätilojen välillä ei ole niin suuri kuin SMA:lla.

SMA:n osalta tulokset tuottavat vastaavan tuloksen kuin muu tutkimusaineisto.



Kuva 50. Tyhjätilamittaustuloksia ulkomittamenetelmällä sekä ilma-vesipunnituksella / imeytys-pintakuivausmenetelmällä mitattuna.

5 YHTEENVETO

Tutkimuksen perustavoitteeksi asetettiin soveliaimman SMA:n tyhjätilan mittaamenetelmän valinta. Tutkitun perusteella on vaikea löytää täydellistä mittaamenetelmää, jonka käyttö olisi täysin ongelmaton. Tiettyjä suosituksia voidaan kuitenkin antaa.

Ilma-vesipunnituksen (IV) käyttö SMA-massan tyhjätilan mittaamiseen ei ole käytännössä järkevää, vaikka menetelmä soveltuukin SMA-kappaleille, joista saadaan alle 4 % tyhjätila. SMA:lla tyhjätilat vaihtelevat usein 4 % molemmin puolin imeytys-pintakuivausmenetelmällä (IPK) mitattuna. IV-menetelmä ei sovellu käytettäväksi avoimille massoille, joihin SMA:kin pintarakenteensa vuoksi on luettava. Perinteinen käyttö tiheiden massojen (lähinnä AB) tyhjätilojen määrittämisessä on varmasti edelleen suositeltavaa. Ilmahuukosiin tunkeutuvan veden määrä on niin vähäinen, ettei muiden menetelmien käyttö ole tarpeen.

Laboratoriomittaamenetelmistä käytännössä epävarmimmalta vaikuttaa tilavuuden mittaaminen ulkomittojen perusteella. Tulos riippuu merkittävästi mitaajan suorituksesta. Vaikkakin epävarmuustekijä on olemassa, ovat tulokset kuitenkin käyttökelpoisia: epävarmuus on otettava huomioon vaatimusrajoja asetettaessa. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että jos SMA-päällysteillä siirryttäisiin käyttämään ulkomittamenetelmää tyhjätilan arvostelussa, raja-arvot tyhjätilalla olisivat tuolloin 3...10 %. Tutkimuksen perusteella DIM-menetelmää tulisi käyttää IPK-menetelmän sijasta, jos tyhjätilat DIM-menetelmällä mitattuina ovat yli 12 %.

Yksi hyvä DIM-menetelmän mittaasidea vastaava periaatteessa vastaava menetelmä on kalvomenetelmä. Sen tulosten yhteys IPK-menetelmän tuloksiin on selvästi parempi kuin DIM-menetelmällä saatiin, mutta tulokset ovat silti samalla tasolla kuin DIM-menetelmällä. Arvostelussa IPK:n sijasta käytettäessä tyhjätilan raja-arvot olisivat 3,5...9 %.

Asfalttinormit 1995 mukaiset tyhjätilan sallitut raja-arvot SMA:n osalta on annettu IPK-menetelmällä määritettyinä. IPK ottaa huomioon osan SMA:ssa olevista pintahuukosista, muttei selviä avoimia koloja. Tyhjätilan kasvaessa erityisen suureksi (DIM-tyhjätila yli 12 %) menetelmän tulokset eivät anna enää oikean tasoisia tuloksia. IPK-menetelmällä tällaista päällystettä mitattaessa saatetaan päätyä virheelliseen käsitykseen, että tulokset ovat sallituissa rajoissa. Tällöin tulisi käyttää DIM-menetelmää tai mittausta muovikalvon avulla. On tosin todettava, että periaatteessa näin suuret tyhjätilat eivät ole sallittuja SMA-massoilla.

Periaattellinen tarkastelu tien pintaosan poistamisen vaikutuksesta osoittaa, että DIM-menetelmällä tai muovikalvolla määritetystä tyhjätilasta on 2/3 pinnan avoimuutta. Kulumisen kannalta ajatellen tämä saattaa olla hyvä ratkaisu, mutta toisaalta tulos on suuresti riippuvainen päällysteen paksuudesta.

Laboratorion ja tiemittausten tulosten vertailun perusteella mittaamenetelmän valinta ei ole ongelma, kun tyhjätilaa mitataan poratuista kappaleista.

6 LÄHTEET

Asfalttinormit 1995. PANK ry. Helsinki 1995.

PANK 4108: Asfalttimassan tiheys, laskennallinen menetelmä. Hyväksytty 30.1.1995.

PANK 4109: Asfalttimassan tiheys, Ricen menetelmä. Hyväksytty 16.1.1995.

PANK 4110: Asfalttipäällyste tiheys, ilma-vesipunnitusmenetelmä. Hyväksytty 4.5.1995.

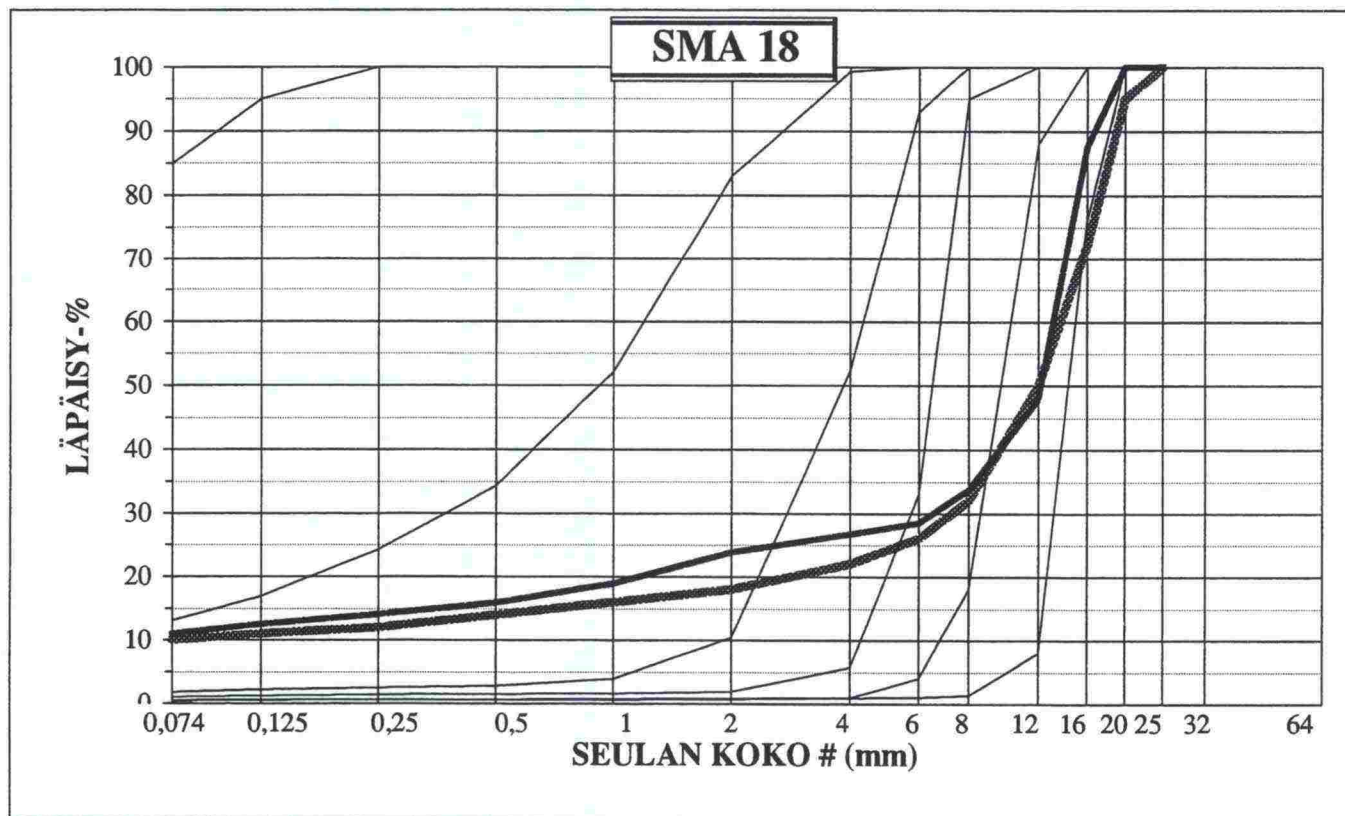
PANK 4111: Asfalttipäällyste tiheys, ulkomittamenetelmä. Hyväksytty 4.5.1995.

PANK 4112: Asfalttipäällyste tiheys, imeytys-pintakuivausmenetelmä. Hyväksytty 4.5.1995.

PANK 4113: Asfalttipäällyste tiheys, DOR-menetelmä. Hyväksytty 23.5.1995.

PANK 4114: Asfalttipäällyste, tyhjätila ja tilavuussuhteet. Hyväksytty 23.5.1995.

prEN 227111: Determination of the bulk density of bituminous specimens. European standard - working draft. Testing bituminous materials. Third WG1-draft, April 1995 lisänsäsoveltuvuustutkimuksen ulkomittamenetelmän.



U-piiri / Koskenkylä, kevät 1994

Seososuudet:

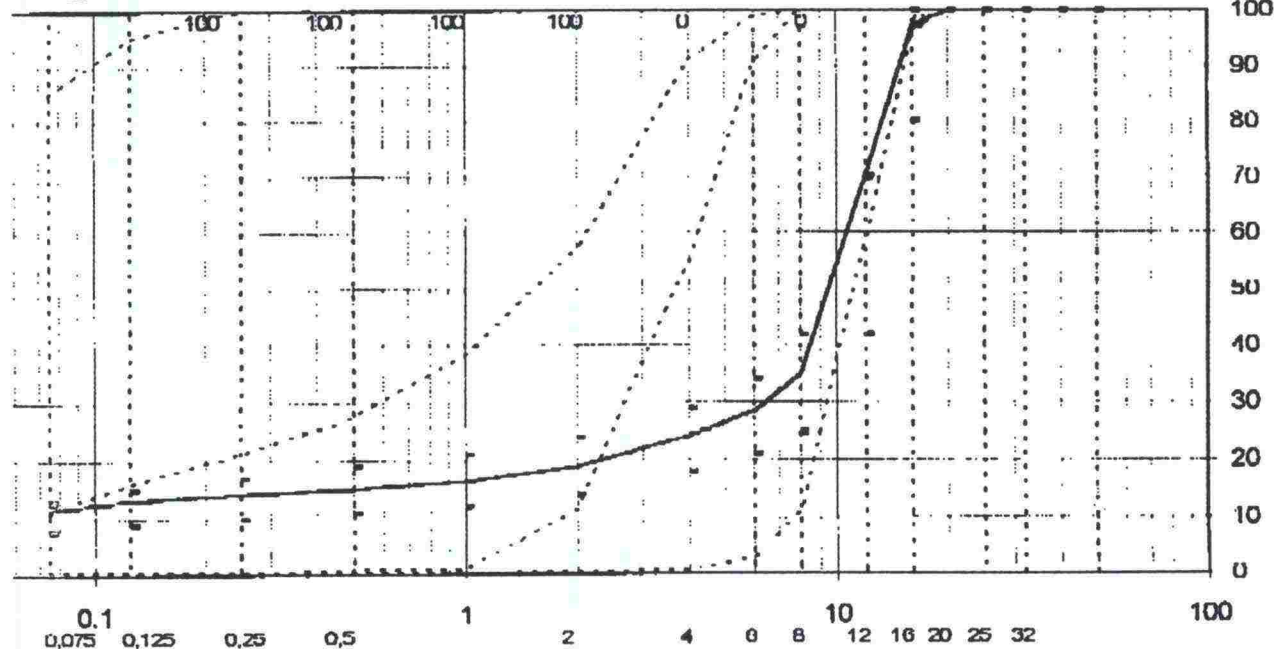
Seososuudet:			9 %	15 %		5 %	15 %	56 %
	SMA 18	Seos	KF	0-2	2-5	5-8	8-12	12-18
0,074	10	11,0	85	13,1	1,8	1	0,5	0,4
0,125	11	12,5	95	16,9	2,2	1,2	0,6	0,5
0,25	12	14,1	100	24,2	2,5	1,4	0,6	0,6
0,5	14	15,8	100	34,3	2,8	1,5	0,6	0,6
1	16	18,9	100	52,1	3,9	1,6	0,6	0,7
2	18	23,8	100	83	10,4	1,9	0,7	0,8
4	22	26,7	100	99,3	52,3	5,7	0,9	0,9
6	26	28,5	100	100	93	33	4	1
8	32	33,7	100	100	100	95	18	1,3
12	50	47,9	100	100	100	100	88	8
16	72	87,6	100	100	100	100	100	76
20	95	100,0	100	100	100	100	100	100
25	100	100,0	100	100	100	100	100	100



Päälyste:	SMA16					
Asf.osoma:	JOUTJARVI					
Sidesaine	B70/100	6.2	%			
Täytejauha	KF	11.0	%			
Lisäaine	KUITU	0.4				
Kivimiekat	HAMEENKOSKI					

Liheys	2.70	2.97	2.97	2.97	2.99	2.75	2.75
Sidesinepit							
Nimi	KF	KAM0-4	KAM4-8	KAM8-16	KaM 14/20	SrM 6/12	SrM 12/18

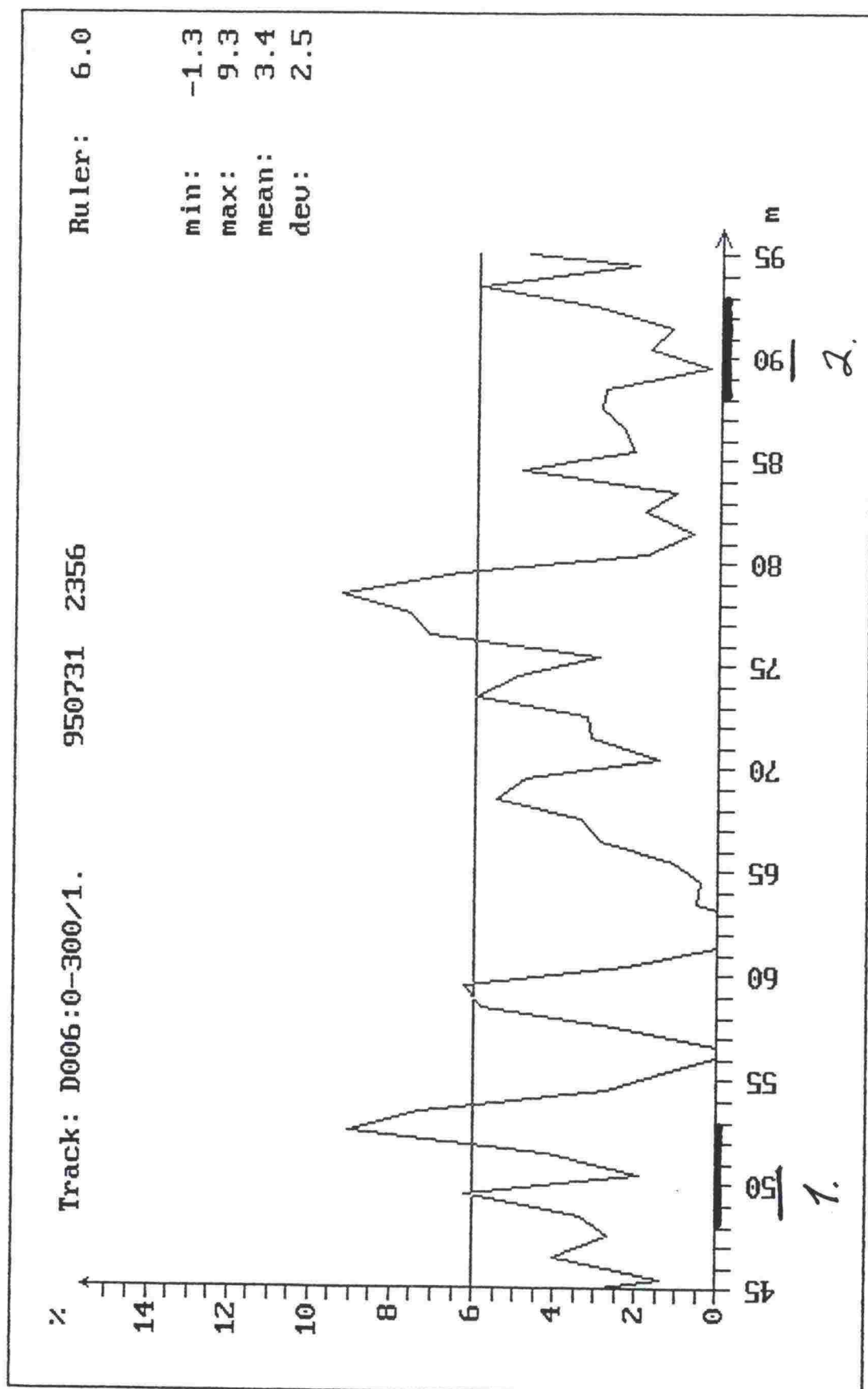
%-osuudet	11	9	5	75				H	Suhteit	aloraja	ylaraja
0.074	85	11	1	0				1	12	8	13
0.125	95	16	1	0				1	13	9	15
0.25	100	21	1	0				1	14	10	17
0.5	100	28	1	0				1	15	11	19
1	100	36	1	1				2	16	12	21
2	100	57	12	1				2	18	14	24
4	100	91	55	1				2	24	18	29
6	100	88	81	3				2	26	21	34
8	100	100	100	11				2	35	25	42
12	100	100	100	59				1	70	42	70
16	100	100	100	96				0	97	80	100
20	100	100	100	100				0	100	100	100
25	100	100	100	100				0	100	100	100
32	100	100	100	100					100	100	100
40	100	100	100	100	0	0			100	100	100
50	100	100	100	100	0	0	0		100	100	100

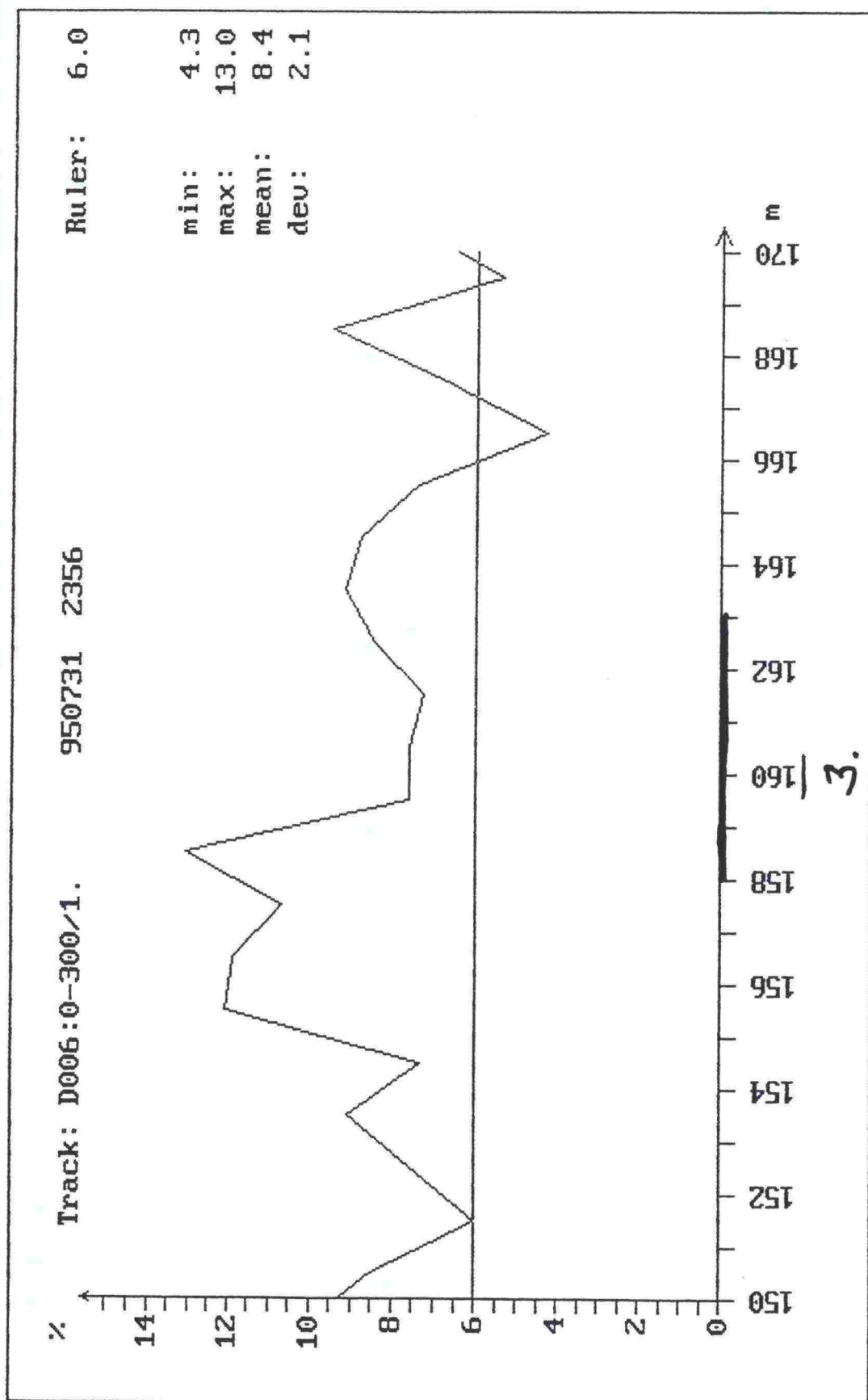


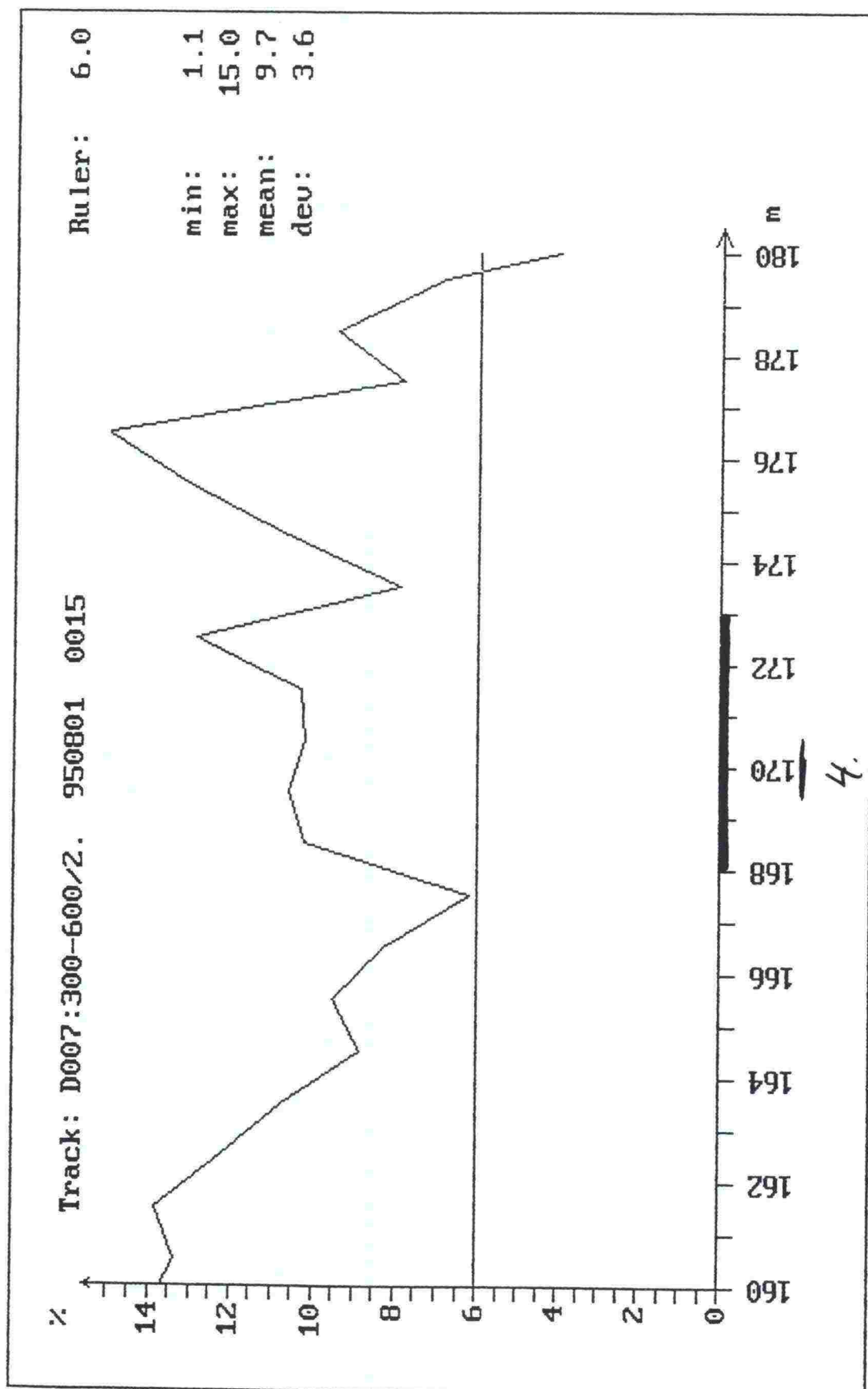
Lisätietoja

Tehnyt:

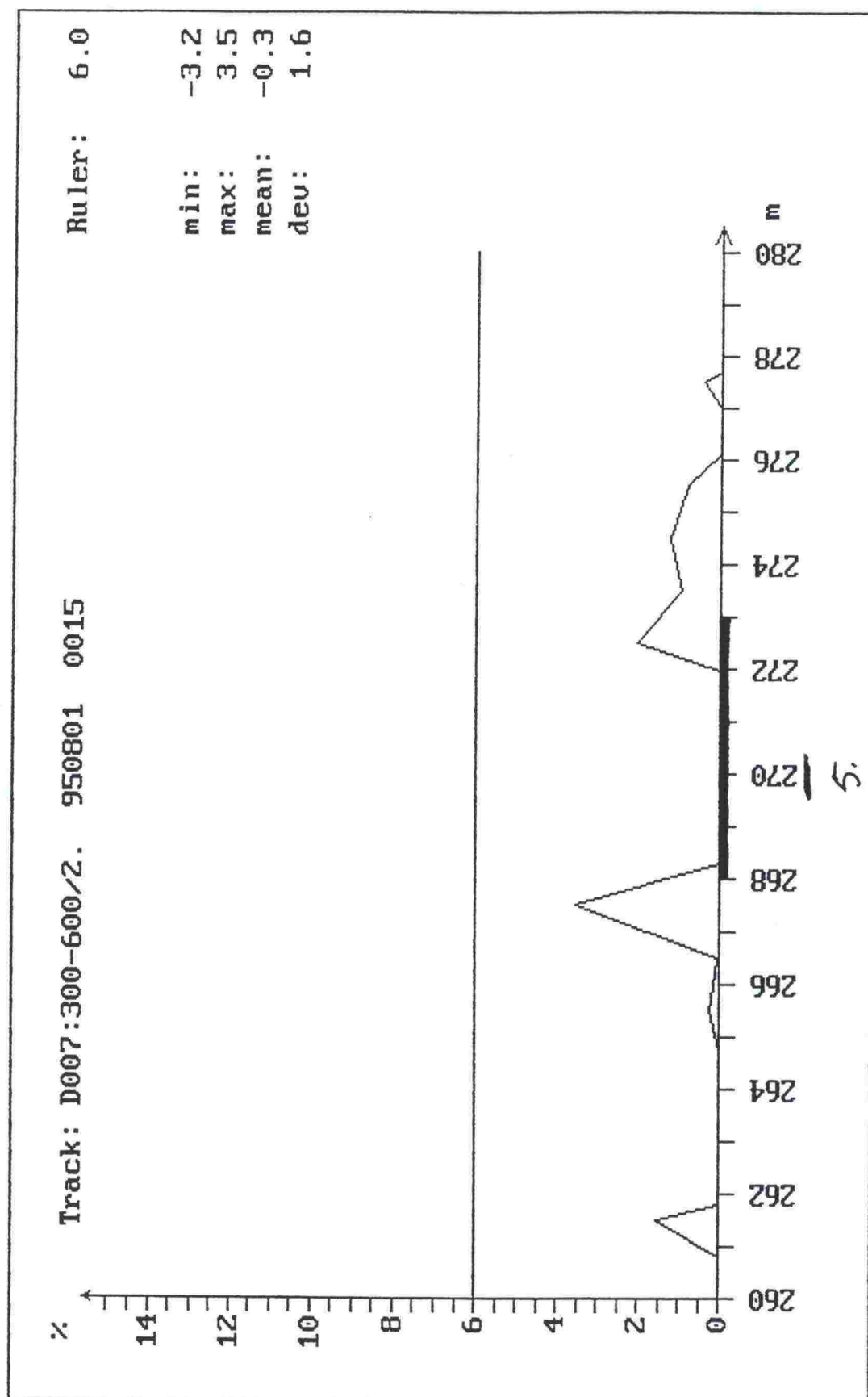
Tarkastanut:



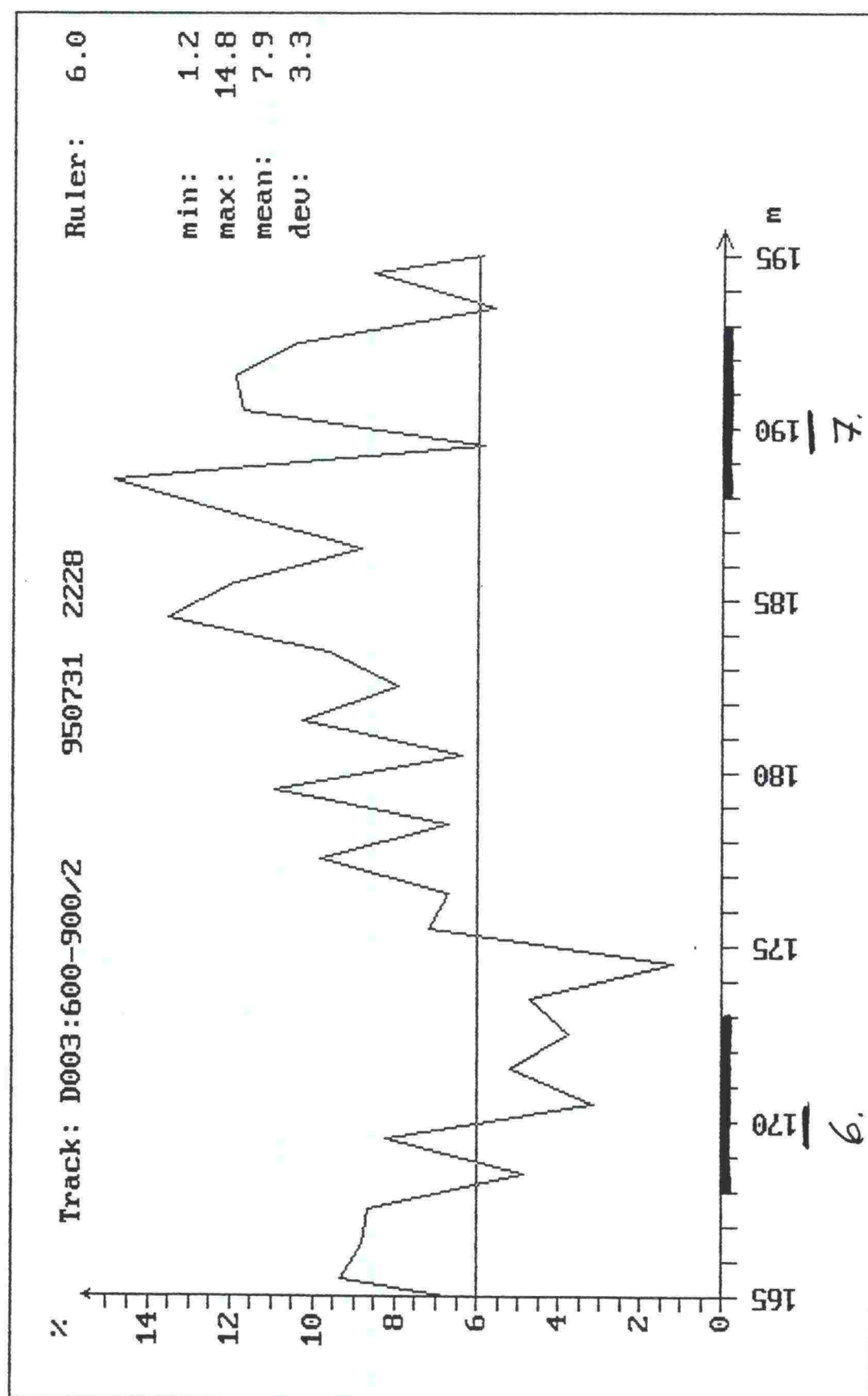




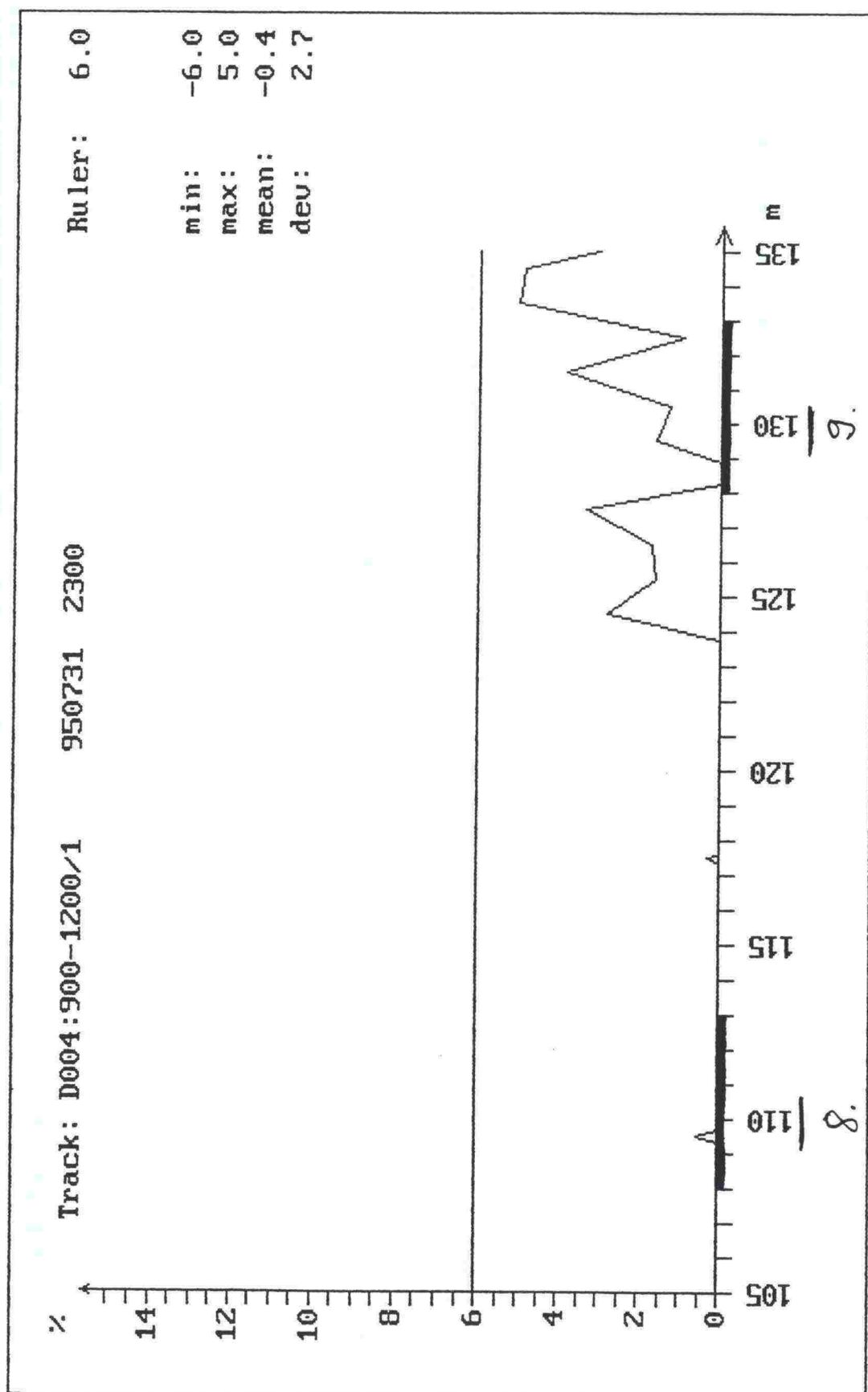
Printing date: 1995-08-07 10:11
Project: Kekä 1 Otaniemi, TIEL

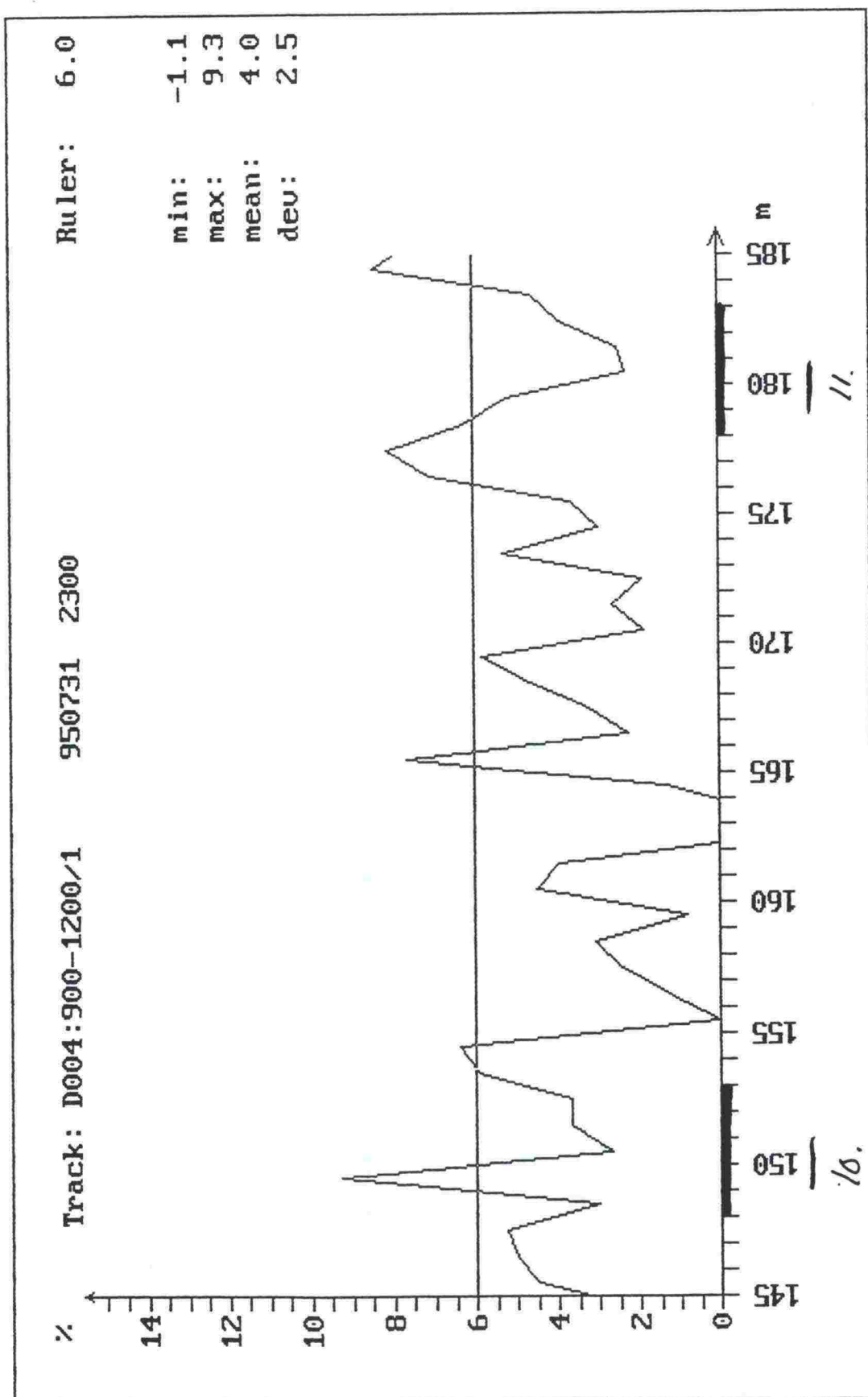


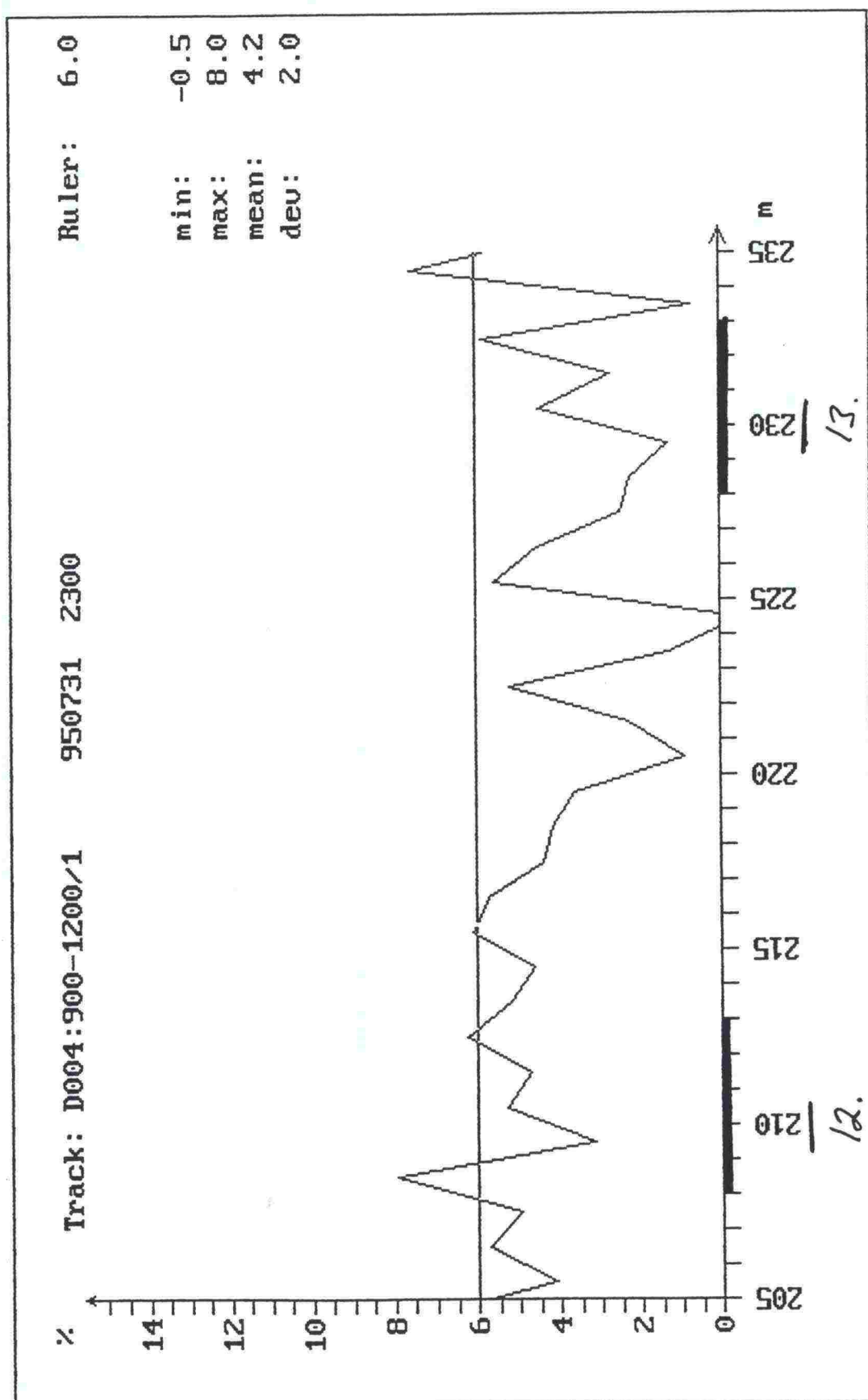
Printing date: 1995-08-07 09:34
Project: Kekä 1 Otaniemi, TIEL



Printing date: 1995-08-07 09:47
Project: Kekä 1 Otaniemi, TIEL

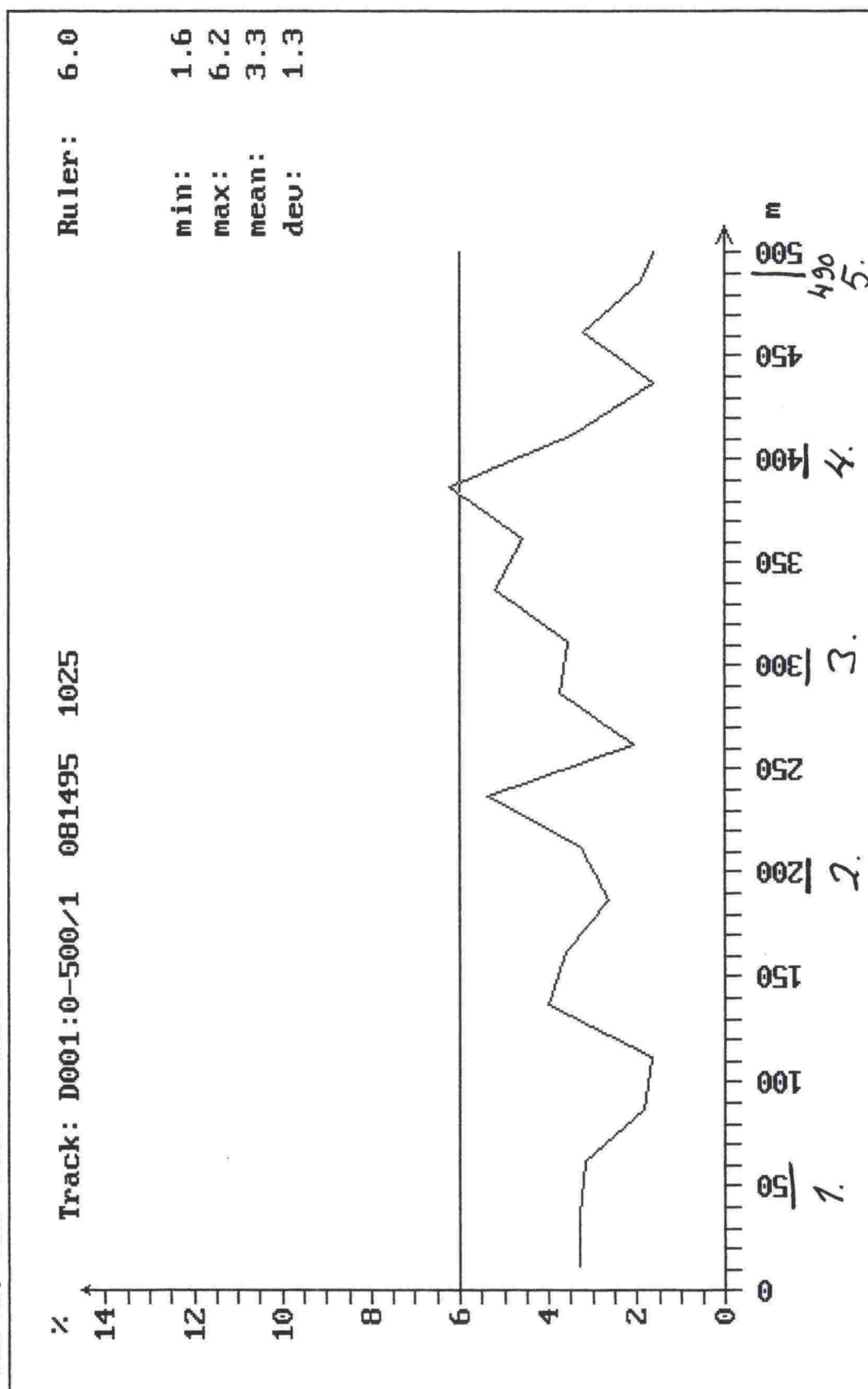






CCS - International AB

Curve, Air void volume



CCS - International AB

Curve, Air void volume

Track: D002:500-1000/2 081495 1055

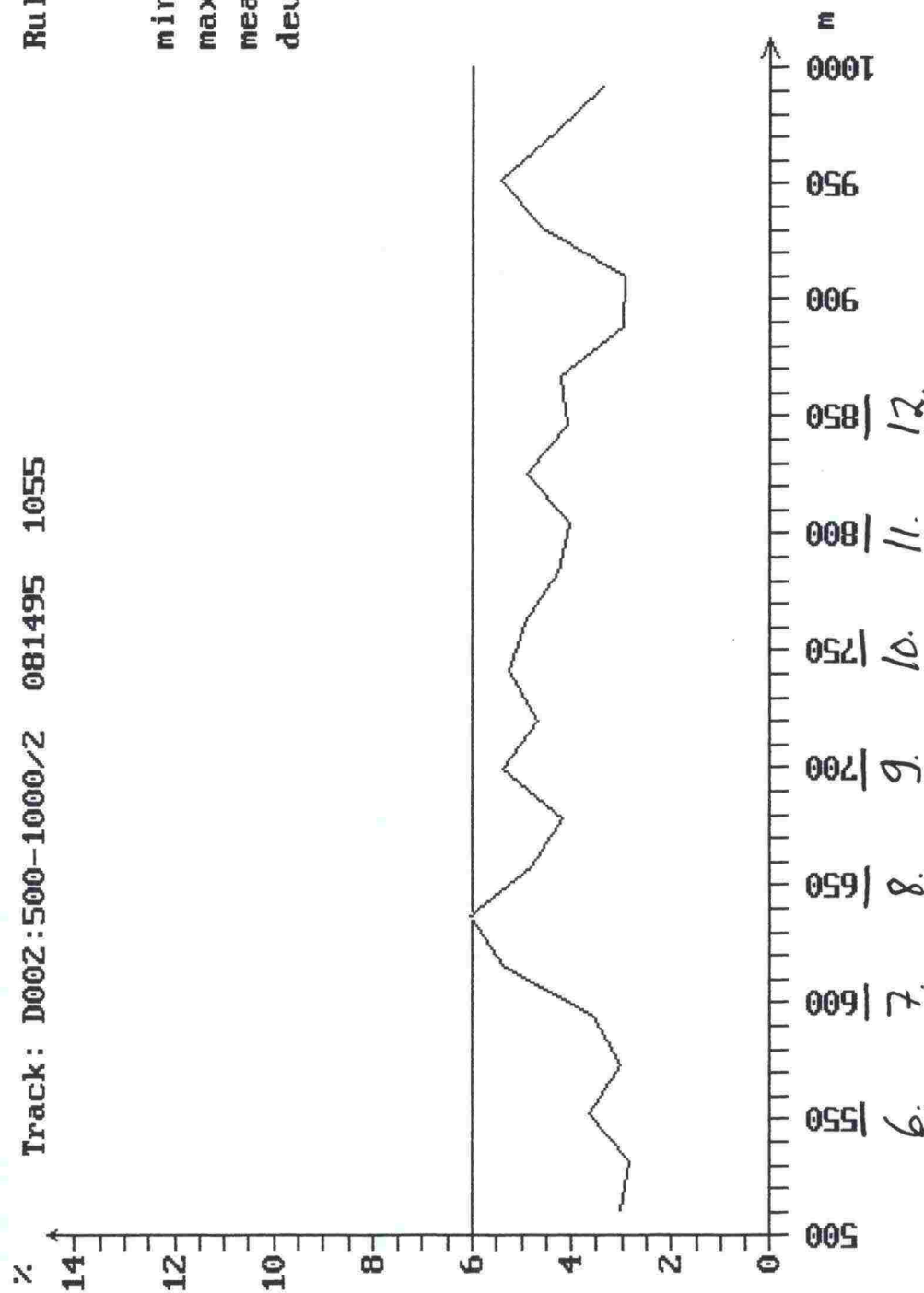
Ruler: 6.0

min: 2.9

max: 6.1

mean: 4.2

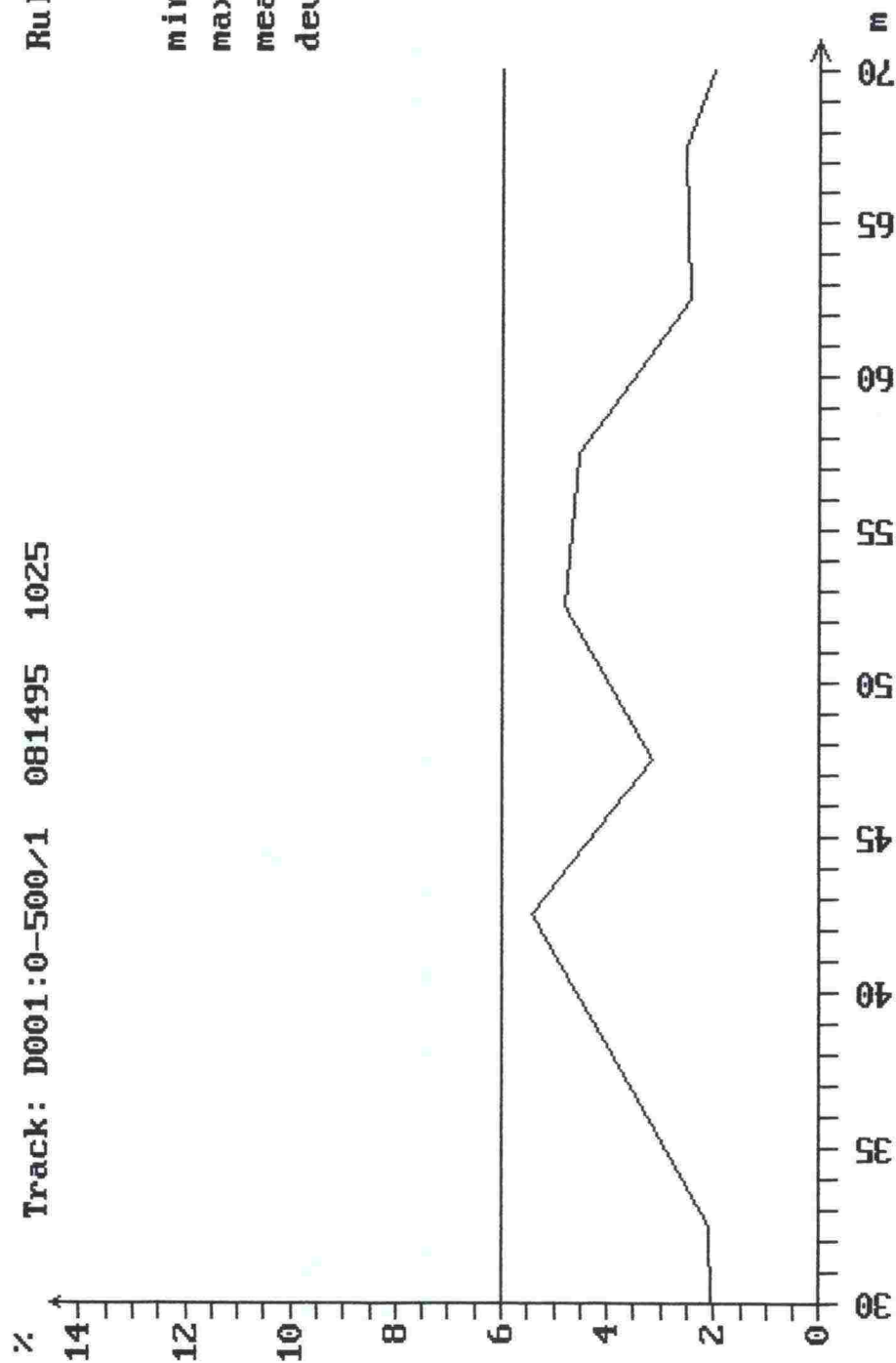
dev: 0.9



Curve, Air void volume CCS - International AB

Track: D001:0-500/1 081495 1025

Ruler:	6.0
min:	1.5
max:	5.4
mean:	3.2
dev:	1.3



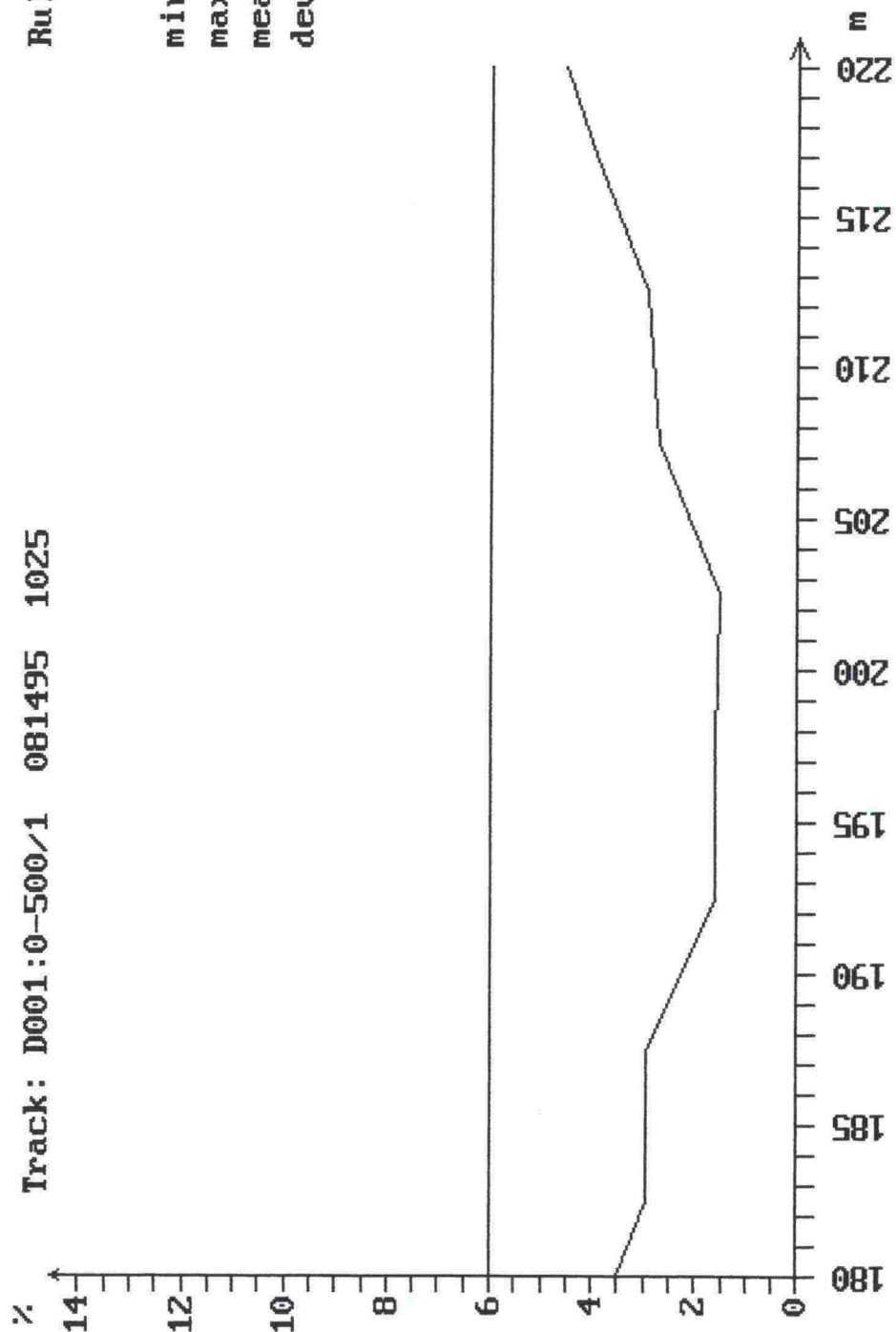
CCS - International AB

Curve, Air void volume

Track: D001:0-500/1 081495 1025

Ruler: 6.0

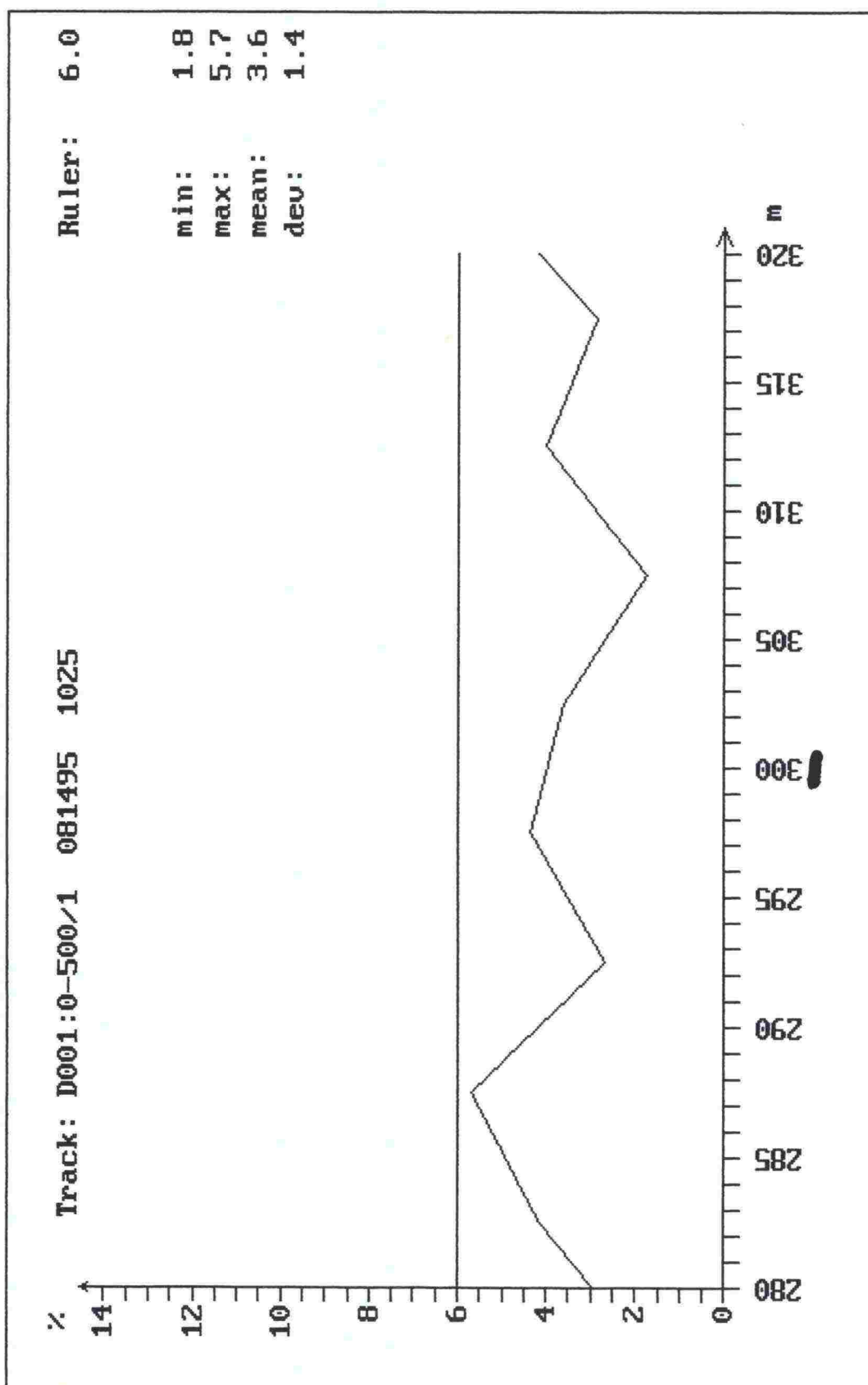
min:	1.5
max:	5.0
mean:	2.9
dev:	1.2



2.

CCS - International AB

Curve, Air void volume

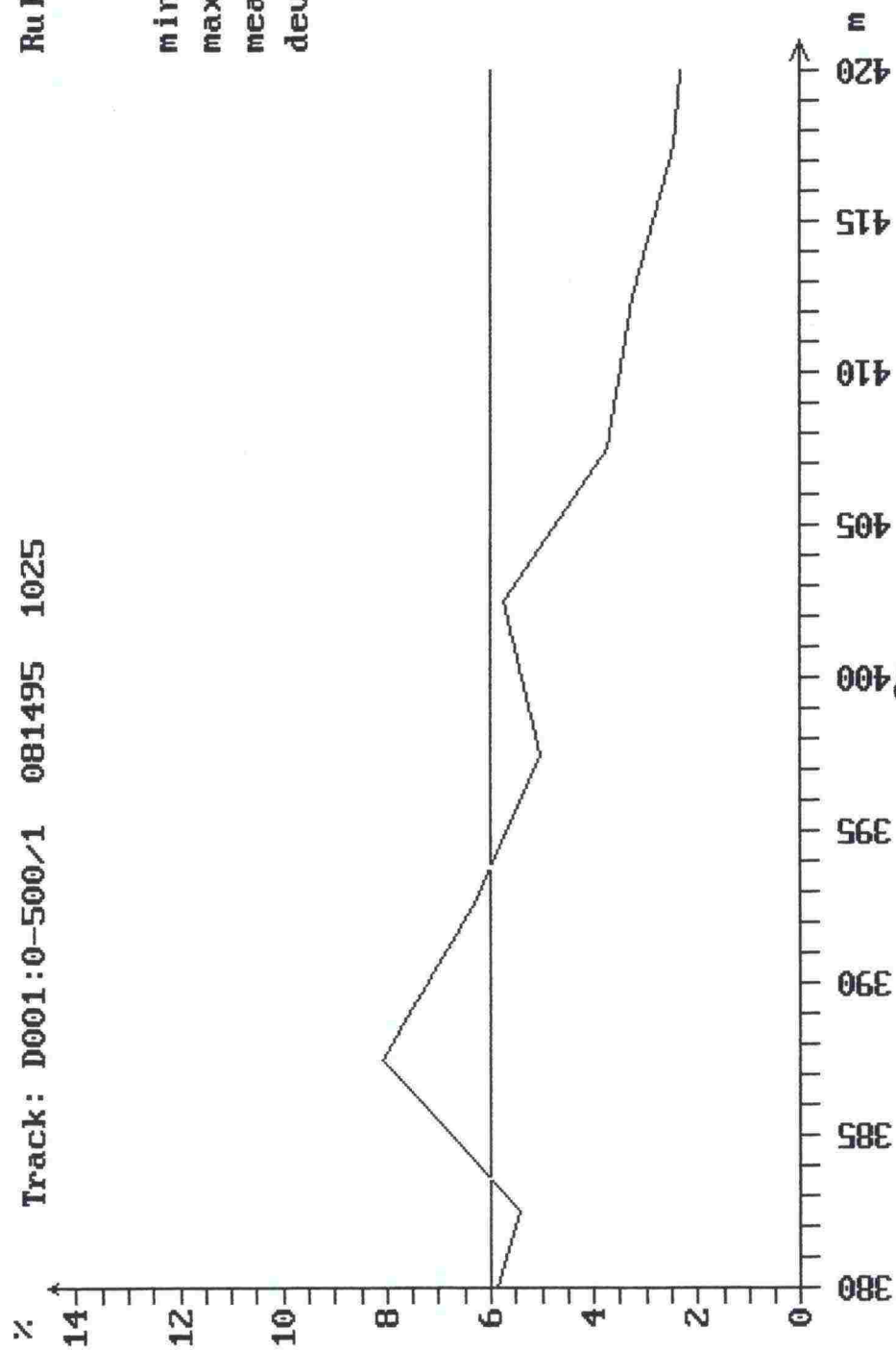


3.

Curve, Air void volume CCS - International AB

Track: D001:0-500/1 081495 1025

Ruler:	6.0
min:	2.1
max:	8.0
mean:	4.8
dev:	1.9



4.

Printing date: 1995-08-14 18:37

Project: KT 54 Lahti-Riihimäki / T.Lehtola / VTT

14.8.95

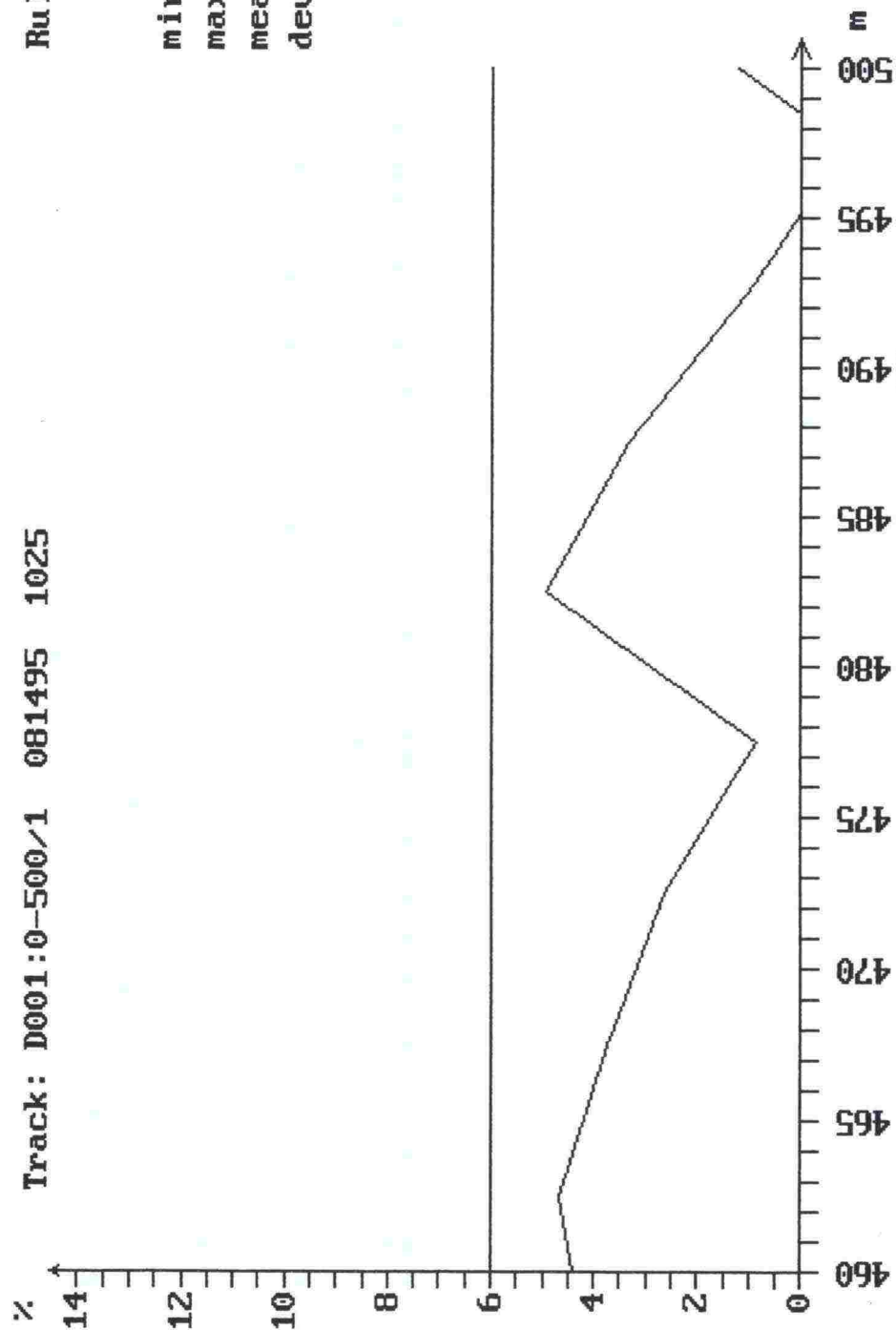
CCS - International AB

Curve, Air void volume

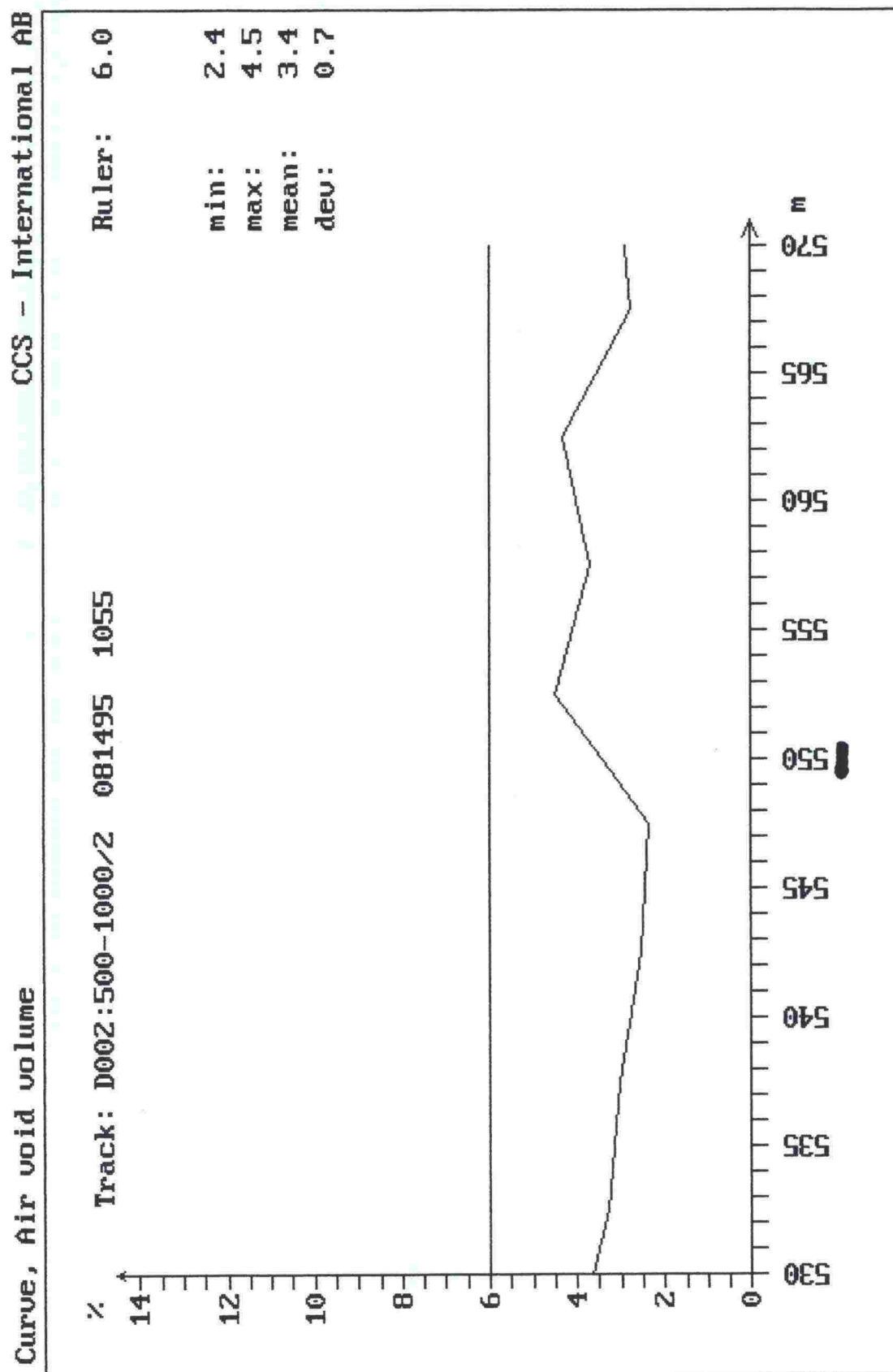
Track: D001:0-500/1 081495 1025

Ruler: 6.0

min: -0.9
max: 4.9
mean: 2.6
dev: 1.9



5.



6.

Printing date: 1995-08-14 18:43

Project: KT 54 Lahti-Riihimäki / T.Lehtola / VTT

14.8.95

CCS - International AB

Curve, Air void volume

Track: D002:500-1000/2 081495 1055

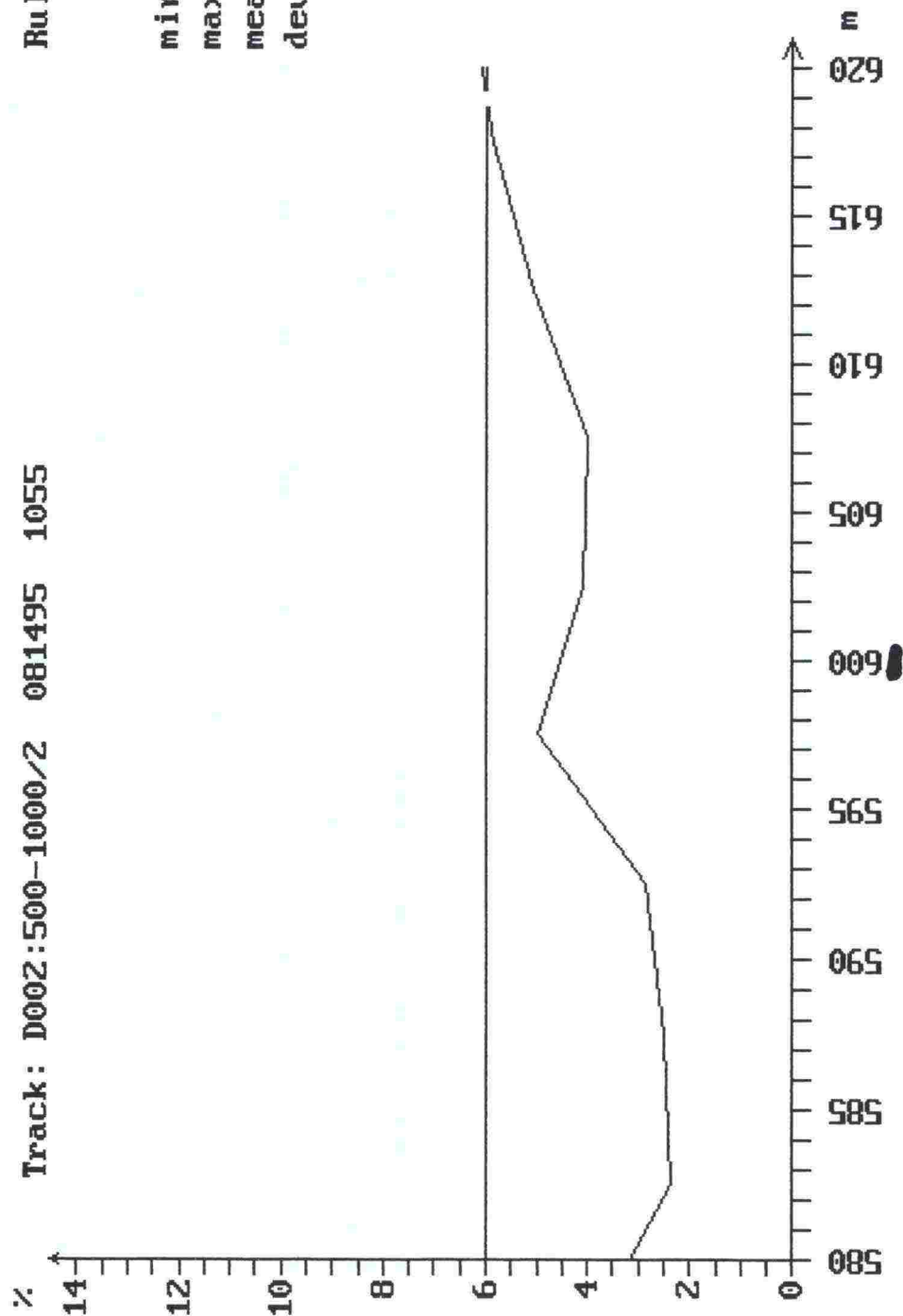
Ruler: 6.0

min: 2.4

max: 6.3

mean: 4.2

dev: 1.4



7.

Curve, Air void volume

CCS - International AB

Track: D002:500-1000/2 081495 1055

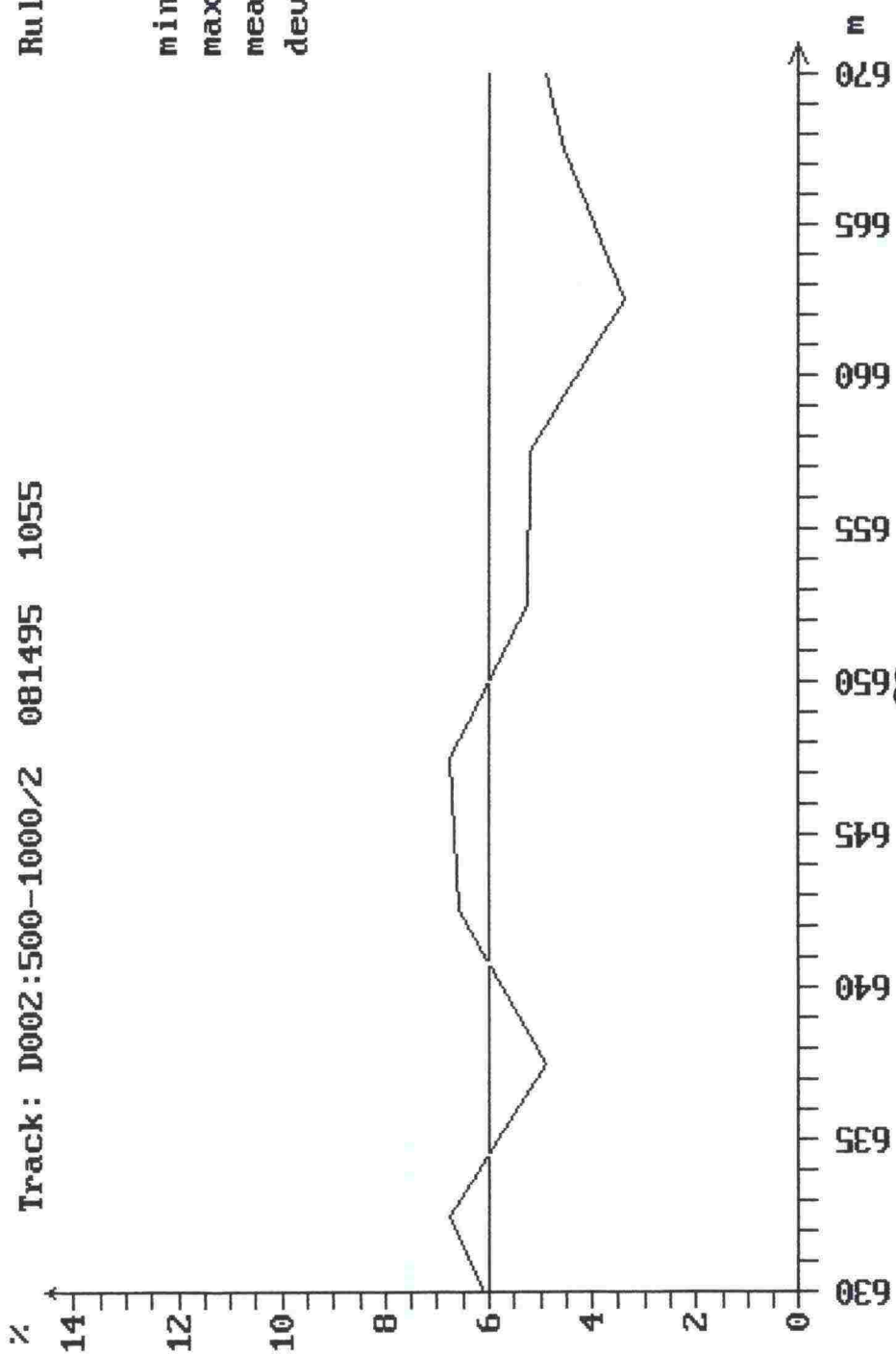
Ruler: 6.0

min: 3.4

max: 6.7

mean: 5.4

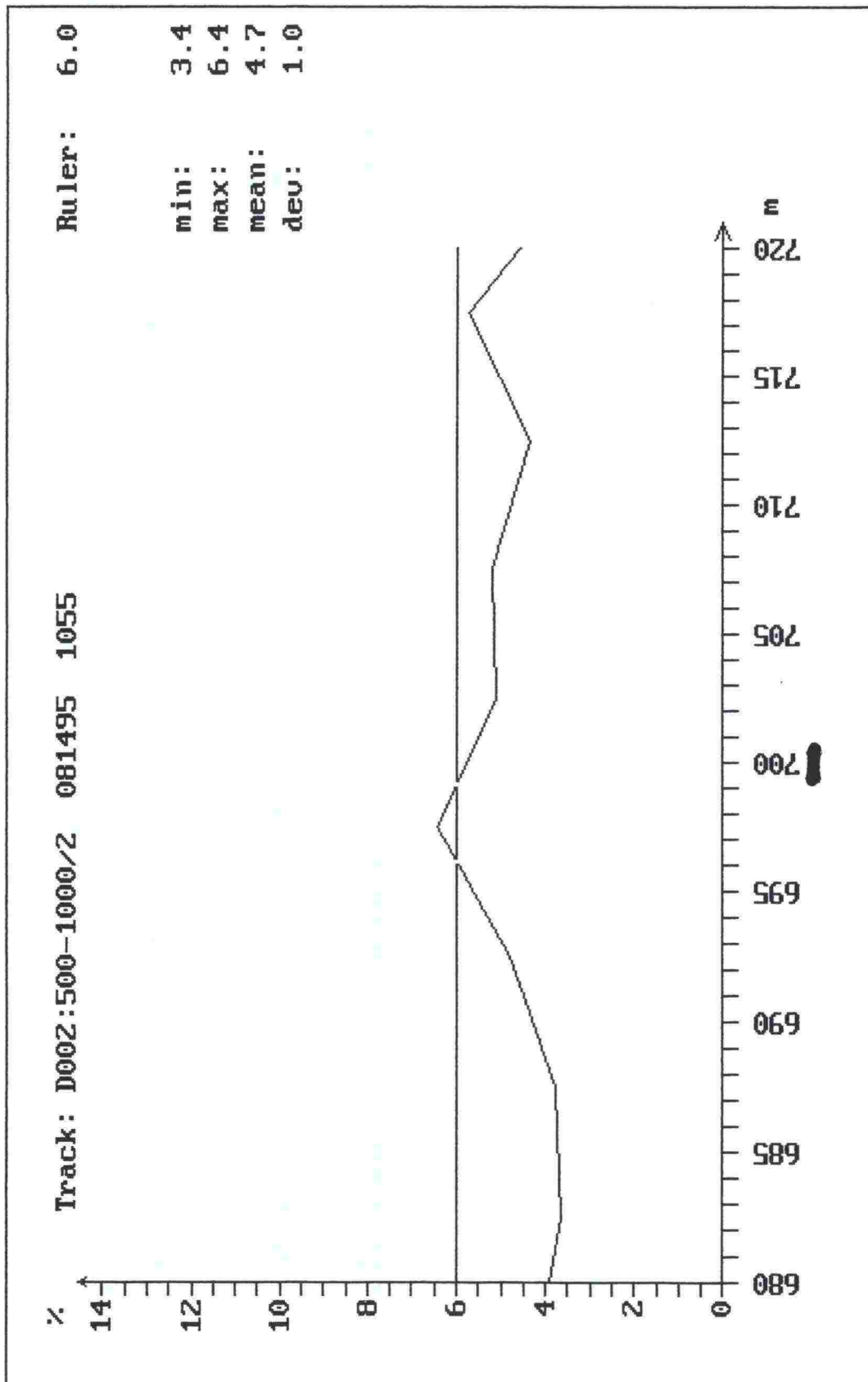
dev: 1.1



8.

CCS - International AB

Curve, Air void volume



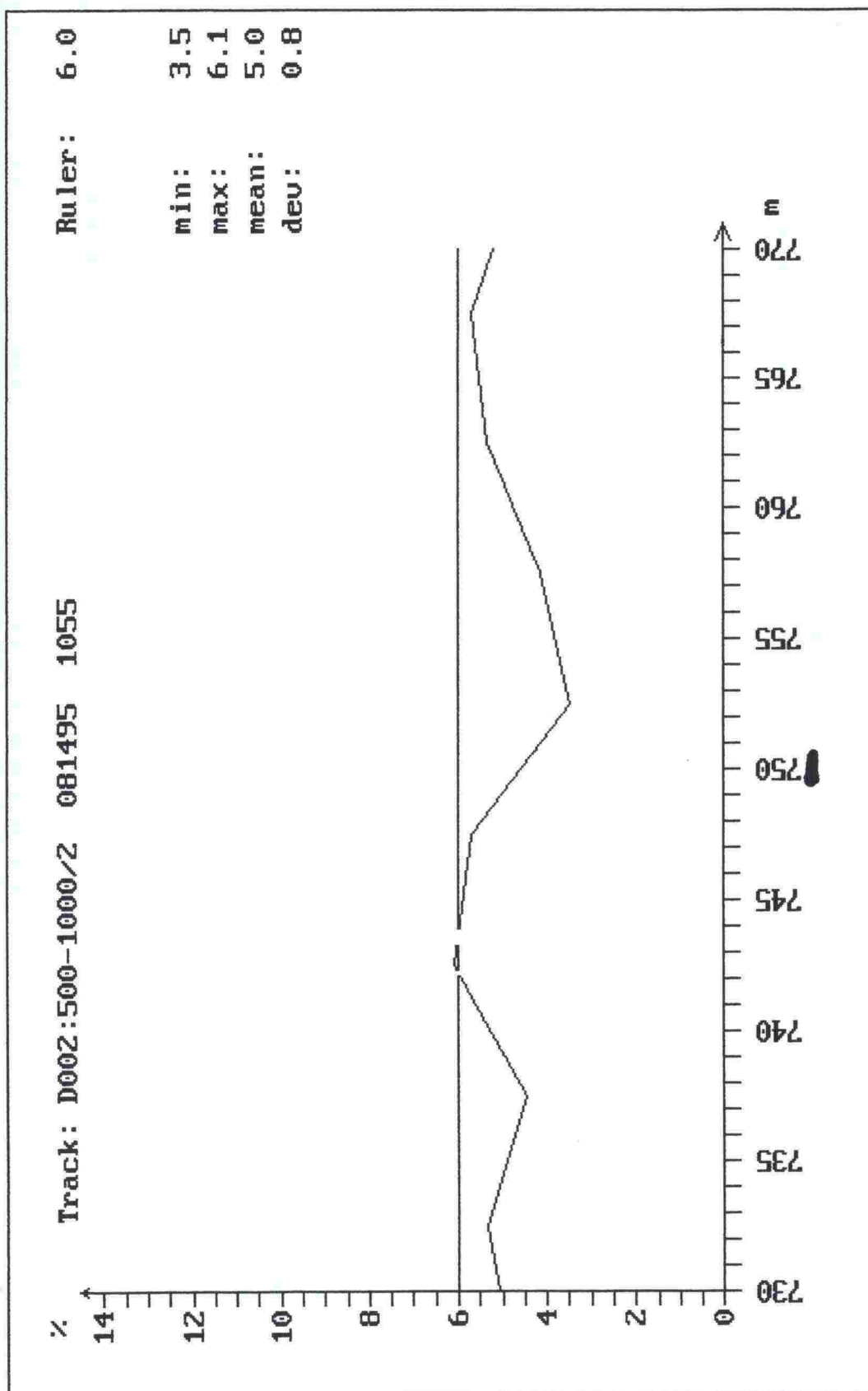
9.

Curve, Air void volume CCS - International AB

Track: D002:500-1000/2 081495 1055

Ruler:	6.0
min:	3.5
max:	6.1
mean:	5.0
dev:	0.8

Curve, Air void volume



10.

Printing date: 1995-08-14 18:56

Project: KT 54 Lahti-Riihimäki / T.Lehtola / VTT

14.8.95

Curve, Air void volume

CCS - International AB

Track: D002:500-1000/2 081495 1055

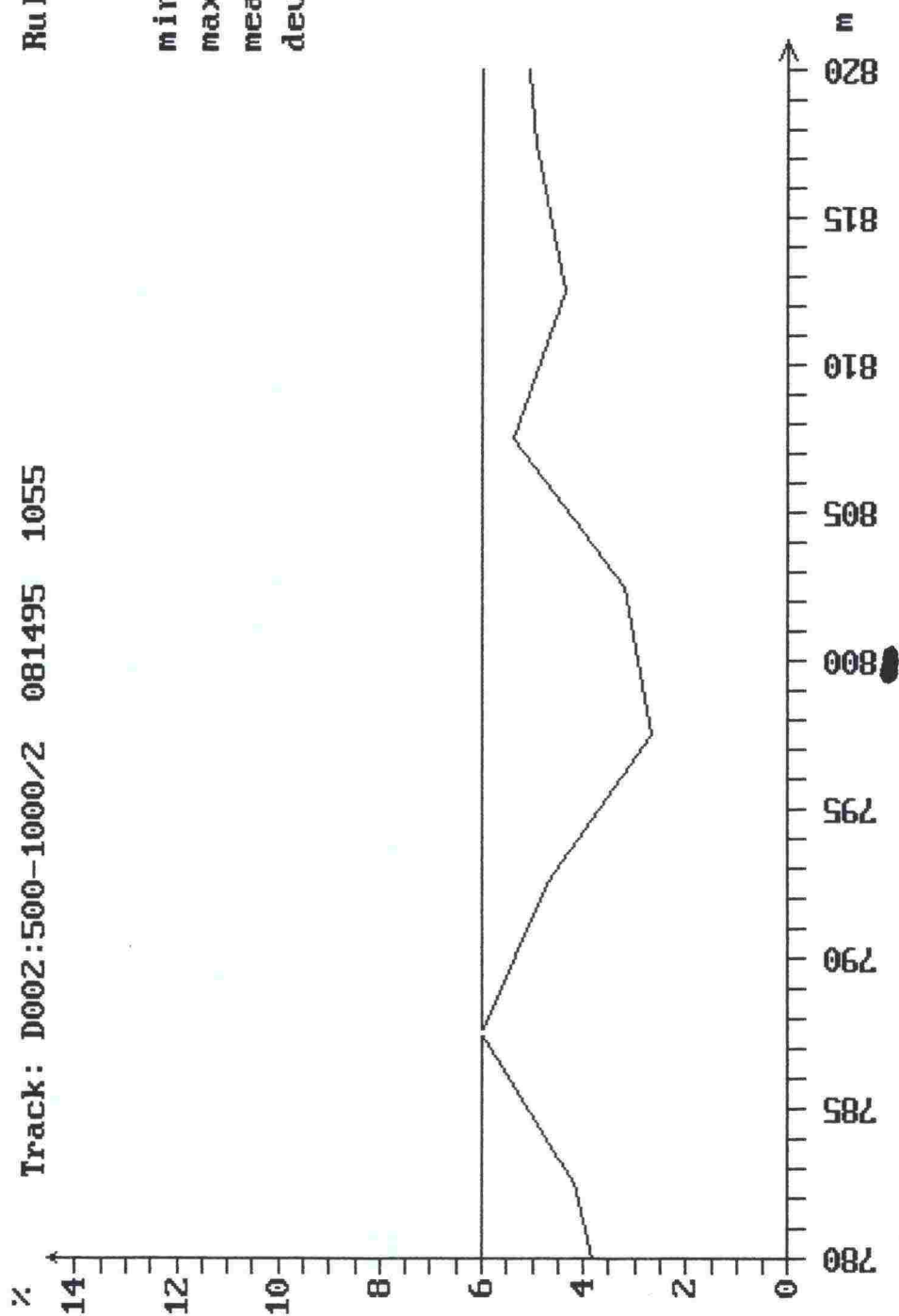
Ruler: 6.0

min: 2.7

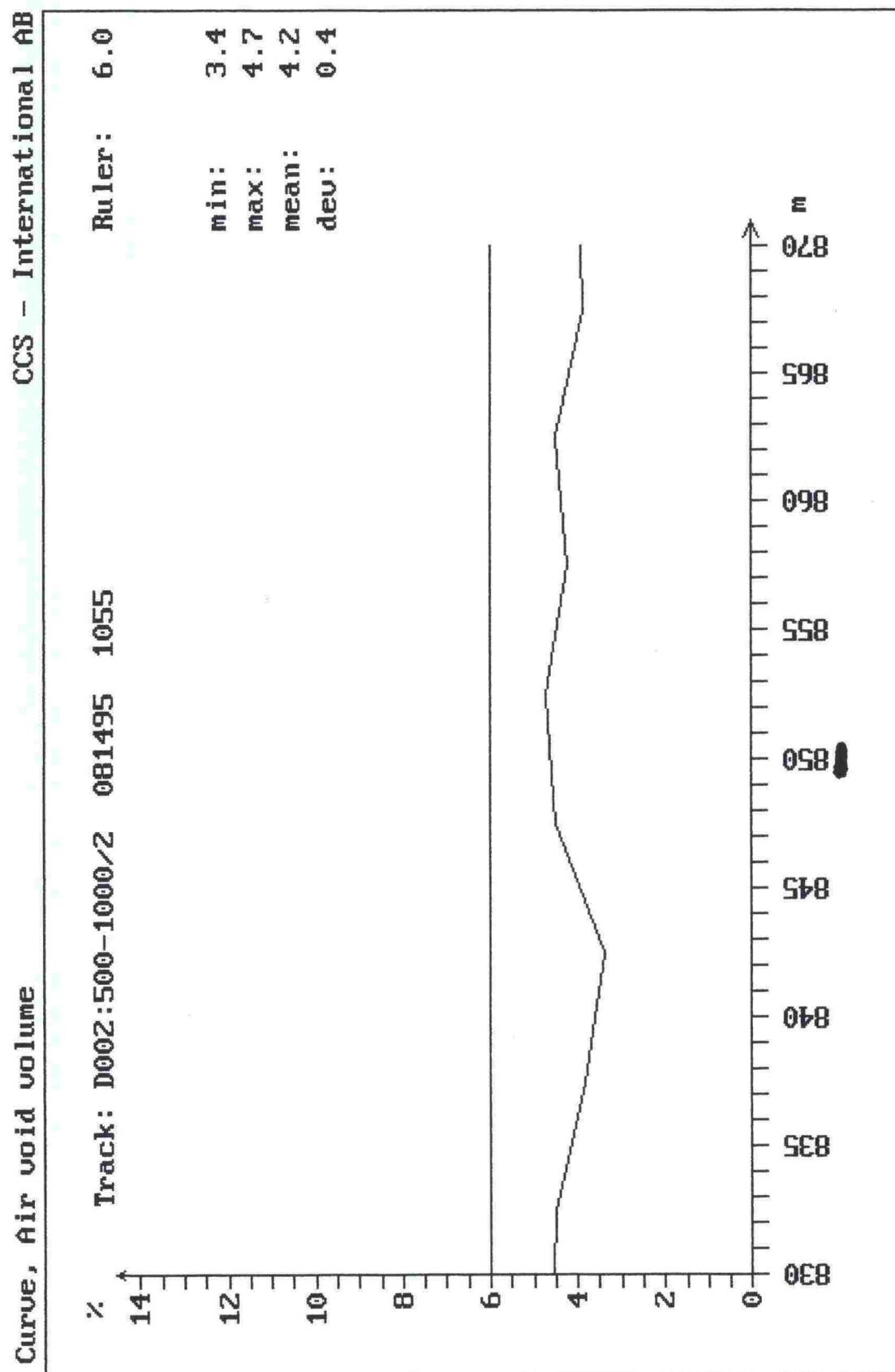
max: 6.0

mean: 4.4

dev: 1.0



11.



12.

Tielaitoksen geokeskuksen mittaustuloksia

Massa	Ottopaikka	Koekpl n:o	Massan tiheys	Tiheys IV	Tyhjätila IV	Tiheys IPK	Tyhjätila IPK	Tiheys DIM	Tyhjätila DIM
SMA 18	Mt 101 Karhusaari - Konala	1	2400			2305	4,0	2221	7,5
		2	2400			2317	3,5	2242	6,6
		3	2400			2352	2,0	2256	6,0
		4	2406			2367	1,6	2284	5,1
		5	2406			2378	1,2	2316	3,7
		6	2406			2325	3,4	2191	8,9
AB 20	Mt Värtsilä - Sortavala	1	2476	2427	2,0			2402	3,0
		2	2476	2422	2,2			2317	6,4
		3	2478	2331	5,9			2248	9,3
		4	2481	2421	2,4			2364	4,7
		5	2481	2381	4,0			2341	5,6
		6	2479	2419	2,4			2315	6,6
		7	2479	2422	2,3			2342	5,5
		8	2481	2258	9,0			2115	14,8
		9	2483	2436	1,9			2421	2,5
		10	2483	2418	2,6			2384	4,0
		11	2477	2438	1,6			2419	2,3
		12	2477	2429	1,9			2352	5,0
		13	2474	2331	5,8			2211	10,6
		14	2471	2416	2,2			2406	2,6
		15	2471	2400	2,9			2356	4,7

Tielaitoksen geokeskuksen mittaustuloksia

Massa	Ottopaikka	Koekpl n:o	Massan tiheys	Tiheys IV	Tyhjätila IV	Tiheys IPK	Tyhjätila IPK	Tiheys DIM	Tyhjätila DIM
		16	2476	2427	2,0			2346	5,3
		17	2476	2439	1,5			2400	3,1
		18	2482	2269	8,6			2125	14,4
		19	2488	2436	2,1			2363	5,0
		20	2488	2427	2,5			2381	4,3
		21	2480	2419	2,5			2380	4,0
		22	2480	2400	3,2			2381	4,0
		23	2478	2283	7,9			2141	13,6
		24	2476	2399	3,1			2348	5,2
		25	2476	2358	4,8			2169	12,4
		26	2477	2406	2,9			2336	5,7
		27	2477	2417	2,4			2326	6,1
		28	2475	2305	6,9			2256	8,8
		29	2473	2403	2,8			2322	6,1
		30	2473	2404	2,8			2345	5,2
AB 12	Kuhmon kaupunki	1	2420	2307	4,7			2285	5,6
		2	2420	2330	3,7			2277	5,9
		3	2420	2363	2,4			2332	3,6
		4	2424	2331	3,8			2304	5,0
		5	2424	2262	6,7			2204	9,1
AB 22	Kt 76 Ontojoki-Tervasalmi	1	2463	2378	3,5			2341	5,0

Tielaitoksen geokeskuksen mittaustuloksia

Massa	Ottopaikka	Koekpl n:o	Massan tiheys	Tiheys IV	Tyhjätila IV	Tiheys IPK	Tyhjätila IPK	Tiheys DIM	Tyhjätila DIM
		2	2463	2396	2,7			2349	4,6
		3	2464	2266	8,0			2123	13,8
		4	2464	2400	2,6			2344	4,9
		5	2464	2398	2,7			2368	3,9
		6	2452	2396	2,3			2371	3,3
		7	2452	2387	2,7			2355	4,0
		8	2451	2347	4,2			2285	6,8
		9	2450	2390	2,4			2347	4,2
		10	2450	2383	2,7			2338	4,6
		11	2447	2373	3,0			2341	4,3
		12	2447	2293	6,3			2225	9,1
		13	2450	2303	6,0			2254	8,0
		14	2452	2379	3,0			2341	4,5
		15	2452	2336	4,7			2271	7,4
		16	2459	2398	2,5			2368	3,7
		17	2459	2388	2,9			2344	4,7
		18	2457	2333	5,0			2061	16,1
		19	2455	2373	3,3			2335	4,9
		20	2455	2360	3,9			2258	8,0
		21	2464	2388	3,1			2343	4,9
		22	2464	2392	2,9			2331	5,4
		23	2459	2254	8,3			2115	14,0
		24	2454	2409	1,8			2369	3,5

Tielaitoksen geokeskuksen mittaustuloksia

Massa	Ottopaikka	Koekpl n:o	Massan tiheys	Tiheys IV	Tyhjätila IV	Tiheys IPK	Tyhjätila IPK	Tiheys DIM	Tyhjätila DIM
SMA 20	Vt 5 Vierumäki - Lusi	25	2454	2355	4,0			2303	6,2
		26	2450	2409	1,7			2379	2,9
		27	2450	2430	0,8			2398	2,1
		28	2455	2365	3,7			2258	8,0
		29	2461	2398	2,6			2370	3,7
		30	2461	2342	4,8			2300	6,5
		1	2443			2361	3,4	2272	7,0
		2	2443			2407	1,5	2369	3,0
		3	2445			2263	7,4	1987	18,7
		4	2446			2322	5,1	2169	11,3
		5	2446			2352	3,8	2299	6,0
		6	2451			2369	3,3	2279	7,0
		7	2451			2405	1,9	2382	2,8
		8	2450			2287	6,7	2115	13,7
		9	2449			2366	3,4	2337	4,6
		10	2449			2347	4,2	2263	7,6
		11	2444			2428	0,7	2386	2,4
		12	2444			2380	2,6	2337	4,4
		13	2448			2270	7,3	2143	12,5
		14	2452			2362	3,7	2313	5,7
		15	2452			2382	2,9	2299	6,2
		16	2438			2410	1,1	2368	2,9

Tielaitoksen geokeskuksen mittaustuloksia

Massa	Ottopaikka	Koekpl n:o	Massan tiheys	Tiheys IV	Tyhjätila IV	Tiheys IPK	Tyhjätila IPK	Tiheys DIM	Tyhjätila DIM
		17	2438			2330	4,4	2268	7,0
		18	2448			2294	6,3	2222	9,2
		19	2458			2369	3,6	2342	4,7
		20	2458			2395	2,6	2337	4,9
		21	2455			2370	3,5	2312	5,8
		22	2455			2392	2,6	2325	5,3
		23	2449			2383	2,7	2326	5,0
		24	2443			2356	3,6	2337	4,3
		25	2443			2375	2,8	2323	4,9
		26	2461			2365	3,9	2328	5,4
		27	2461			2334	5,2	2254	8,4
		28	2451			2285	6,8	2082	15,1
		29	2442			2374	2,8	2284	6,5
		30	2442			2392	2,0	2320	5,0
		31	2451			2379	2,9	2345	4,3
		32	2451			2347	4,2	2290	6,6
		33	2448			2337	4,5	2205	9,9
		34	2445			2398	1,9	2338	4,4
		35	2445			2395	2,0	2359	3,5
		36	2452			2379	3,0	2317	5,5
		37	2452			2365	3,5	2359	3,8
		38	2451			2386	2,7	2121	13,5
		39	2451			2356	3,9	2321	5,3

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 82/1995 PAB-V -tutkimukset 1995. TIEL 3200357
- 83/1995 Ympäristö tiepiirin toiminnassa. TIEL 3200358
- 84/1995 Soratien tasaisuuden ja pinnan kiinteyden vaikutukset ajokustannuksiin. TIEL 3200359
- 85/1995 Valo-ohjatun liittymän välityskyky. TIEL 3200360
- 86/1995 Valtatien 4:n Järvenpää-Mäntsälä-välin muuttuvan reittiopastusjärjestelmän vaikutukset. TIEL 3200361
- 87/1995 Moottoriväylien rinnakkaistiet; Esiselvitys alemman tieverkon ominaisuuksista ja suunnitteluperiaateista moottoriväylän liikennekäytävässä. TIEL 3200362
- 88/1995 Remixer-stabilointi. TIEL 3200363
- 89/1995 Lauttapaikkojen palvelutaso. TIEL 3200364
- 90/1995 Lossin ohjausköyttä korvaavat laitteistot. TIEL 3200365
- 91/1995 Heinolan ohikulkutien seurantatutkimus. TIEL 3200366
- 92/1995 Voidaanko henkilöautoliikennettä vähentää? TIEL 3200367
- 93/1995 PTM-auton mittaaman megakorkeuden soveltuvuus päällysteen tasaisuuden arviointiin. TIEL 3200368
- 94/1995 Stabiloidun maamassan leikkauslujuuden ja CPT-kairauksen välinen riippuvuus. TIEL 3200369
- 1/1996 Muuttuvien kelivaroitusmerkkien vaikutus ajonopeuksiin, aikaväleihin ja kuljettajien käsityksiin. TIEL 3200370
- 2/1996 Kestävä kehitys tiensuunnittelussa. TIEL 3200371
- 3/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - luonto. TIEL 3200372
- 4/1996 Liittymien muutostoimenpiteiden vaikutus liikennekäyttämiseen - pyöräteiden ylityskohdat. TIEL 3200373
- 5/1996 Uudenmaan tiepiirin liikenteen hallintakeskuksen tehtävä ja toiminnot. TIEL 3200374
- 6/1996 Tuotannon laatu-, päällys- ja routarakenteet. TIEL 3200375
- 7/1996 Terminaaliiviitoituksen periaatteet. TIEL 3200376
- 8/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - taajamat. TIEL 3200377
- 9/1996 Salaojan ympärysaineiden toiminta koerakenteessa; Loppuraportti TIEL 3200378
- 10/1996 Tielaitoksen toiminnan ympäristövaikutusten indikaattorit; Viitekehys TIEL 3200379

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-190-X
TIEL 3200380